

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ante Mastelić

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Doc. dr. sc. Mislav Čehil, dipl. ing.

Student:

Ante Mastelić

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svome mentoru doc. dr. sc. Mislavu Čehilu na stručnim savjetima te pomoći prilikom izrade rada, te svojoj obitelji i prijateljima na podršci tijekom dosadašnjeg studija.

Ante Mastelić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ante Mastelić**

Mat. br.: 0035197427

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Tehnoekonomska analiza grijanja stambenog prostora u Dalmaciji**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Technoeconomic analysis of living space heating in Dalmatia**

Opis zadatka:

Zbog svojih klimatskih osobina Dalmacija je područje u Hrvatskoj s najvećim potencijalom za korištenje zračnih toplinskih pumpi za grijanje stambenog prostora. Trenutno je u Dalmaciji u gradskim sredinama dominantno grijanje električnom energijom, a plinifikacija se tek razmatra.

Stoga je u radu potrebno:

1. Napraviti matematički model grijanja građevine te odrediti godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje.
2. Odrediti godišnju potrošnju električne energije za slučaj korištenja zračne toplinske pumpe uzimajući u obzir promjenljiv COP (coefficient of performance) faktor s obzirom na vanjsku temperaturu zraka.
3. Usporediti godišnju potrošnju toplinske energije za toplinske pumpe različitih energetskih razreda, za grijanje prirodnim plinom te za grijanje električnom energijom.
4. Odrediti potrebne investicijske troškove te odrediti najpovoljniju varijantu grijanja stambenog prostora u urbanim sredinama.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2017.

Rok predaje rada:

1. rok: 23. veljače 2018.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.

3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.

2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.

3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

Doc. dr. sc. Mislav Čehil

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	VI
POPIS OZNAKA	VII
SAŽETAK.....	X
SUMMARY	XI
1. UVOD.....	1
1.1. Toplinska ugodnost	1
1.2. Podjela sustava grijanja	3
1.2.1. Toplovodni sustavi grijanja	5
1.2.1.1. Ogrjevnja tijela	6
1.2.2. Dizalice topline	8
2. PRORAČUN PROJEKTOG TOPLINSKOG OPTEREĆENJA PREMA HRN EN 12831 [5].....	12
2.1. Projektni toplinski gubici prostorije	12
2.1.1. Projektni transmisijski gubici	12
2.1.1.1. Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu – koeficijent gubitka $H_{T,ie}$	12
2.1.1.2. Transmisijski gubici kroz negrijane prostore prema vanjskom okolišu– koeficijent gubitka $H_{T,iue}$	13
2.1.1.3. Gubici topline prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu – koeficijent transmisijskih gubitaka $H_{T,ij}$	15
2.1.2. Ventilacijski toplinski gubici	15
2.1.2.1. Protok zraka bez ventilacijskog sustava	16
3. PRORAČUN POTREBNE ENERGIJE ZA GRIJANJE PROSTORA ZGRADE PREMA HRN EN ISO 13790 [6]	19
3.1. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd}$	19

3.2. Proračunske zone.....	20
3.3. Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje $Q_{H,nd}$	20
3.3.1. Ukupni toplinski dobici za proračunski period	21
3.3.1.1. Unutarnji toplinski dobici.....	21
3.3.1.2. Toplinski dobici od Sunčeva zračenja Q_{sol}	22
3.3.2. Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje.....	24
3.4. Osnovna usporedba proračuna po normama HRN EN 12831 i HRN EN ISO 13790 ..	25
4. OPIS PROBLEMA.....	26
4.1. Tehnički opis prostorije.....	28
5. REZULTATI PRORAČUNA.....	33
5.1. HRN EN 12831	33
5.2. HRN EN ISO 13790.....	35
6. PRIJEDLOG RJEŠENJA	38
6.1. Ovisnost COP-a o vanjskoj temperaturi.....	38
6.2. Plinski kondenzacijski bojler	40
6.3. Konvekcijska grijalica.....	42
7. EKONOMSKA ANALIZA TIPOVA GRIJANJA.....	43
7.1. Analiza osjetljivosti.....	44
8. ZAKLJUČAK.....	45
LITERATURA.....	46
PRILOZI.....	47

POPIS SLIKA

Slika 1.	Odnos PMV-a i PPD-a	2
Slika 2.	Razdioba temperature po visini prostorije za različitu poziciju ogrjevnog tijela....	7
Slika 3.	Pločasti radijator [2]	7
Slika 4.	Shematski prikaz hladnjaka i dizalice topline [3]	8
Slika 5.	Shema i T-s dijagram ljevokretnog ciklusa između temperatura T_L i T_H [1].....	10
Slika 6.	Određivanje protoka zraka $V_{i,uk}$	15
Slika 7.	Postupak proračuna toplinskog opterećenja grijane prostorije.....	18
Slika 8.	Usporedba srednjih mjesečnih temperatura zraka za Split i Zagreb [7].....	26
Slika 9.	Solarni dobici strana u gradu Splitu	27
Slika 10.	Odnos solarnih dobitaka i gubitaka kroz mjesece	36
Slika 11.	Ovisnost vanjske temperature i potrebne energije za grijanje (napomena: u 2162. satu je prekid sezone grijanje, tj. u 2163. satu počinje listopad).....	37
Slika 12.	Ovisnost COP-a o vanjskoj temperaturi	38
Slika 13.	Potrošnja struje kroz sezonu grijanja (mjesečna metoda)	39
Slika 14.	Shema plinskog kondenzacijskog bojlera [12].....	40
Slika 15.	Potrošnja plina u sezoni grijanja (mjesečna metoda)	41
Slika 16.	Potrošnja plina u sezoni grijanja (satna metoda).....	41
Slika 17.	Cijena grijanja konvekcijskom grijalicom	42

POPIS TABLICA

<i>Tablica 1. Skala PMV indeksa.....</i>	<i>1</i>
<i>Tablica 2. Faktor smanjenja temperature razlike, b_u.....</i>	<i>14</i>
<i>Tablica 3. Minimalni broj izmjena zraka n_{min}</i>	<i>16</i>
<i>Tablica 4. Broj izmjena zraka, n_{50}.....</i>	<i>17</i>
<i>Tablica 5. Koeficijent zaštićenosti e_i</i>	<i>17</i>
<i>Tablica 6. Korekcijski faktor za visinu, ε_i.....</i>	<i>18</i>
<i>Tablica 7. Broj dana i sati u mjesecu</i>	<i>22</i>
<i>Tablica 8. Koeficijent prolaza topline za vanjski zid [8]</i>	<i>28</i>
<i>Tablica 9. Koeficijent prolaza topline kroz pod [8]</i>	<i>28</i>
<i>Tablica 10. Vrijednost parametara potrebnih za izračun toplinskih mostova</i>	<i>29</i>
<i>Tablica 11. Izračun koeficijenta transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu, bez toplinskih mostova</i>	<i>29</i>
<i>Tablica 12. Izračun toplinskih mostova za koeficijent gubitaka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu</i>	<i>30</i>
<i>Tablica 13. Izračun toplinskih koeficijenata gubitaka od grijanog prostora preko negrijanog prema vanjskom okolišu</i>	<i>31</i>
<i>Tablica 14. Izračun toplinskih mostova za koeficijent gubitaka od grijanog prostora preko negrijanog prema vanjskom okolišu.....</i>	<i>31</i>
<i>Tablica 15. Izračun toplinskih koeficijenata gubitaka od grijanog prostora prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu</i>	<i>31</i>
<i>Tablica 16. Izračun toplinskih koeficijenata gubitaka od grijanog prostora prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu, iznad.....</i>	<i>31</i>
<i>Tablica 17. Izračun toplinskih koeficijenata gubitka od grijanog prostora prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu, ispod.....</i>	<i>32</i>
<i>Tablica 18. Detaljan izračun ventilacijskih gubitaka.....</i>	<i>33</i>
<i>Tablica 19. Izračun transmisijskih koeficijenata.....</i>	<i>34</i>
<i>Tablica 20. Ukupni proračun toplinskog opterećenja.....</i>	<i>34</i>
<i>Tablica 21. Proračun sunčevog zračenja u ovisnosti o prostoriji i strani svijeta.....</i>	<i>35</i>
<i>Tablica 22. Proračun efektivne površine građevnog elementa (zida, otvora) na koju upada sunčevo zračenje [m^2]</i>	<i>35</i>
<i>Tablica 23. Potrebna godišnja energija za grijanje satnom i mjesečnom metodom.....</i>	<i>36</i>

<i>Tablica 24. Energetski razredi zgrada utvrđeni Pravilnikom o energetskom certificiranju zgrada [9].....</i>	<i>37</i>
<i>Tablica 25. Osnovne tehničke karakteristike dizalice topline [10]</i>	<i>38</i>
<i>Tablica 26. Osnovne tehničke karakteristike plinskog kondenzacijskog bojlera [14]</i>	<i>42</i>
<i>Tablica 27. Usporedba investicijskih troškova ugradnje plinskog kondenzacijskog bojlera i dizalice topline</i>	<i>43</i>
<i>Tablica 28. Usporedba uštede za variranje postotne promjene cijena tarifa struje</i>	<i>44</i>
<i>Tablica 29. Usporedba uštede za variranje postotne promjene cijene plina</i>	<i>44</i>
<i>Tablica 30. Usporedba uštede za variranje postotne promjene struje (jednotarifni obračun cijene električne energije)</i>	<i>44</i>

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

- 1 Tlocrt karakterističnog stana

POPIS OZNAKA

Latinične oznake	Jedinica	Opis
a_H	-	Ovisan o vremenskoj konstanti zgrade
A_C	m^2	Projicirana površina zida
A_k	m^2	Korisna površina
A_{pr}	m^2	Ukupna površina prozora
$A_{sol,c}$	m^2	Efektivna površina neprozirnog građevnog elementa
$A_{sol,k}$	m^2	Efektivna površina otvora k, prozirnog elementa
b_u	-	Faktor smanjenja temperaturne razlike
clo	m^2K/W	Faktor odjevenosti
C_m	kJ/K	Efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade
c_p	J/kgK	Specifični toplinski kapacitet
d	-	Dan
e_i	-	Koeficijent zaštićenosti
e_l	-	Korekcijski faktor izloženosti
e_k	-	Korekcijski faktor izloženosti
F_F	-	Udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora
F_{fin}	-	Parcijalni faktor zasjenjenja (kut bočnog prozorskog zasjenjenja)
F_{hor}	-	Parcijalni faktor zasjenjenja (konfiguracija terena)
$F_{r,k}$	-	Faktor oblika između otvora k i neba
$F_{sh,gl}$	-	Faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja
$F_{sh,ob}$	-	Faktor zasjenjenja od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja
F_{ov}	-	Parcijalni faktor zasjenjenja (kut gornjeg zasjenjenja)
F_w	-	Faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja
f_{ij}	-	Faktor smanjenja temperaturne razlike (susjedni prostor i okoliš)
g_{gl}	-	Ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente kada pomično zasjenjenje nije uključeno
g_{\perp}	-	Stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno
H_d	kJ/kg ($kJ/kmol$)	Donja ogrjevna vrijednost
H_g	kJ/kg ($kJ/kmol$)	Gornja ogrjevna vrijednost
h_r	W/m^2K	Vanjski koeficijent prijelaza topline zračenjem
H_{Tr}	W/K	Koeficijent transmisijske izmjene topline
H_{Ve}	W/K	Koeficijent ventilacijske izmjene topline
$H_{T,ie}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu

$H_{T,ig}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,ij}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature
$H_{T,iue}$	W/K	Koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{V,i}$	W/K	Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka
k	W/m ² K	Koeficijent prolaza topline
l_l	m	Dužina linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije
m	-	Mjesec
met	W/m ²	Faktor fizičke aktivnosti
n_{50}	h ⁻¹	Broj izmjena zraka
n_{min}	h ⁻¹	Minimalni broj izmjena zraka (nacionalni dodatak)
P	kW	Snaga kompresora
q_{spec}	W/m ²	Specifični unutarnji dobitak po m ² korisne površine
$Q_{H,gn}$	kWh	Ukupni toplinski dobici
$Q_{H,ht}$	kWh	Ukupna izmijenjena energija transmisijom i ventilacijom
$Q_{H,nd,cont}$	kWh	Potrebna energija za grijanje
Q_{int}	kWh	Unutarnji toplinski dobici
$Q_{int,m}$	kWh	Unutarnji toplinski dobici (mjesečna razina)
Q_{sol}	kWh	Solarni toplinski dobici
$Q_{sol,k}$	kWh	Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz k-ti građevni dio u grijani prostor
$Q_{sol,m}$	kWh	Solarni toplinski dobici (mjesečna razina)
Q_{Tr}	kWh	Izmijenjena toplinska energija transmisijom
Q_{Ve}	kWh	Izmijenjena toplinska energija ventilacijom
R_{se}	m ² K/W	Plošni toplinski otpor vanjske površine zida
$S_{S,k}$	MJ/m ²	Srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k za promatrani period
T_L	°C	Niža temperatura
T_H	°C	Viša temperatura
U	W/m ² K	Koeficijent prolaza topline
U_k	W/m ² K	Koeficijent prolaza topline k-tog elementa
V_i	m ³	Volumen prostorije prema unutarnjim dimenzijama
$V_{i,uk}$	m ³ /h	Ukupni protok zraka u grijani prostor
$V_{inf,i}$	m ³ /h	Maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije
$V_{min,i}$	m ³ /h	Minimalni higijenski protok zraka
y	-	Godina
y_H	-	Omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja

Grčke oznake	Jedinica	Opis
α	W/m ² K	Koeficijent prijelaza topline
β_H	-	Faktor grijanja
β_R	-	Faktor hlađenja
ε_i	-	Korekcijski faktor za visinu
$\eta_{H,gn}$	-	Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka
θ_e	°C	Vanjska projektna temperatura
$\Theta_{e,m}$	°C	Srednja vanjska temperatura (mjesečna metoda)
$\Delta\vartheta_{er}$	°C	Prosječna temperaturna razlika vanjske temperature zraka i temperature neba
$\theta_{int,i}$	°C	Unutarnja projektna temperatura grijanog prostora
Θ_u	°C	Temperatura u negrijanim prostorima
Θ_v	°C	Vanjska temperatura (satna metoda)
λ	W/mK	Toplinska provodnost
ρ	kg/m ³	Gustoća
τ	h	Vremenska konstanta zgrade
Φ_i	W	Toplinski učin isparivača
$\Phi_{T,i}$	W	Projektni transmisijski gubici topline prostorije
Φ_k	W	Toplinski učin kondenzatora
$\Phi_{r,k}$	W	Toplinski učin zračenja k-tog građevnog elementa
$\Phi_{V,i}$	W	Projektni ventilacijski gubici topline prostorije
ψ_l	W/mK	Linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta

SAŽETAK

U radu je analizirana problematika odabira modernih tipova grijanja za stan u zgradi u gradu Splitu. Analiziran je stan koji se nalazi na rubu zgrade, u kontaktu s jednim grijanim stanom i negrijanim hodnikom. Napravljen je matematički proračun po normama HRN EN 12831 i HRN EN ISO 13790, kojima se odredilo toplinsko opterećenje stana i potrebna godišnja energija za grijanje. S obzirom na nedavnu plinifikaciju Splita, postavlja se pitanje mogućnosti implementacije plinskih kondenzacijskih bojlera, kao alternativa čestom i energetski neprihvatljivim načinom grijanja, električnom energijom. Napravljena je analiza investicijskih troškova za slučaj jednog i drugog načina grijanja, te analiza osjetljivosti, jer su cijene električne energije i plina podložne promjenama.

Ključne riječi: grijanje, Split, dizalice topline, plinifikacija Dalmacije, plinski kondenzacijski bojler

SUMMARY

The paper analyzes the problems of choosing modern types of heating for a flat in a building in the city of Split. An apartment located at the edge of the building was analyzed, in contact with one heated apartment and unheated corridor. A mathematical calculation was made according to norms HRN EN 12831 and HRN EN ISO 13790, which determined the thermal load of the apartment and the required annual heating energy. Given the recent gasification of Split, the question of the possibility of implementation of gas condensing boilers is being asked, as an alternative to frequent and energy unacceptable heating, using electricity. An analysis of investment costs in both cases was made, followed by sensitivity analysis due to electricity and gas prices unpredictability.

Key words: heating, city of Split, heat pumps, gasification of Dalmatia, gas condensing boiler

1. UVOD

1.1. Toplinska ugodnost

Grijanje se smatra jednom od osnovnih ljudskih potreba. Osnovni cilj projektiranja sustava ventilacije, grijanja i hlađenja (GVİK) je postizanje parametara toplinske ugone.

Toplinska ugon se definira po normi ISO 7730 kao stanje svijesti koje izražava zadovoljstvo toplinskim stanjem okoliša. Osnovni parametri koji utječu na toplinsku ugonost osoba u prostoru su:

- a) Temperatura zraka u prostoriji
- b) Temperatura ploha u prostoriji
- c) Vlažnost zraka
- d) Strujanje zraka (brzina, smjer)
- e) Razina odjevenosti (faktor 1 clo = 0,155 m²K/W)
- f) Razina fizičke aktivnosti (faktor 1 met = 58,2 W/m²)
- g) Ostali (kvaliteta zraka, buka, namjena prostora, dob ...)

Važno je naglasiti da je toplinska ugonost rezultat međudjelovanja svih parametara.

Vrednovanje toplinske ugonosti može se odraditi pomoću dva indeksa:

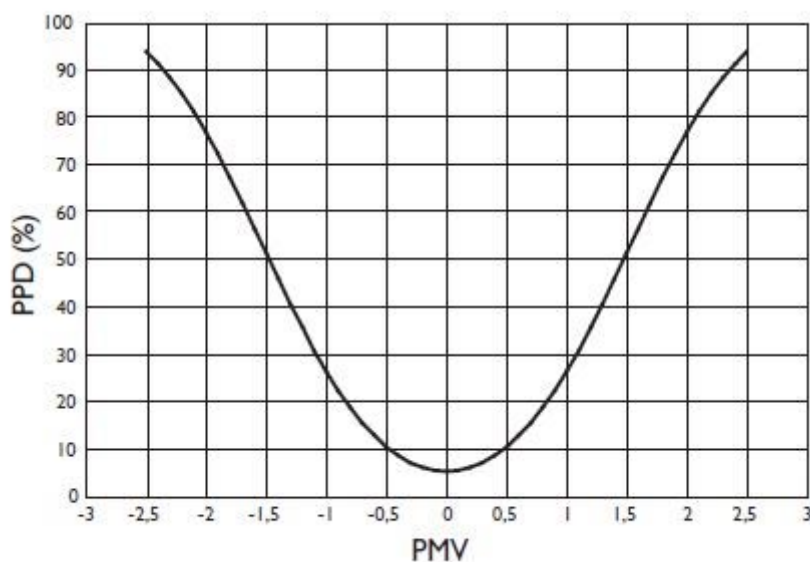
- PMV (eng. Predicted Mean Vote)
- PPD (eng. Predicted Percentage of Dissatisfied)

PMV indeks predviđa subjektivno ocjenjivanje ugonosti boravka u okolišu od strane grupe ljudi, te se može odrediti preko složenih matematičkih izraza u normi ISO 7730. Rezultati se prikazuju preko skale PMV indeksa prikazanoj u tablici 1.

Tablica 1. Skala PMV indeksa

Vruće	+3
Toplo	+2
Blago toplo	+1
Neutralno	+0
Prohladno	-1
Hladno	-2
Ledeno	-3

PPD indeks predviđa postotak nezadovoljnih osoba stanjem okoliša u prostoru. Kako je toplinska ugodnost individualan osjećaj, gotovo je nemoguće postići stanje okoliša koje će u potpunosti zadovoljiti sve prisutne, te se iz tog razloga toplinska ugodnost smatra postignutom ako je manje od 10% osoba nezadovoljno stanjem okoliša. Veza između PMV i PPD indeksa pokazana je dijagramom na slici 1.:



Slika 1. Odnos PMV-a i PPD-a

Iz prikazanog dijagrama može se zaključiti da će vrijednost PPD indeksa biti zadovoljavajuća ($\leq 10\%$) ako se vrijednost PMV indeksa kreće između $+0,5$ i $-0,5$ [1].

1.2. Podjela sustava grijanja

Sustavi grijanja mogu se podijeliti na tri kategorije:

- Prema energentu
- Prema izvedbi
- Prema ogrjevnom mediju

Podjela sustava grijanja po **energentu**:

- Plinski
- Električni
- Solarni
- Loživo ulje
- Kruta goriva (drva, briketi, peleti, ugljen, biomasa)

Podjela sustava grijanja prema **izvedbi**:

- Pojedinačni grijači – izvor topline postavljen unutar pojedine prostorije (peći, termoakumulacijske peći, grijalice, kamini, kaloriferi)
- Centralno grijanje – jedan izvor topline za više prostora unutar zgrade; ujedno se naziva i etažno grijanje
- Daljinsko grijanje – jedan izvor topline za više zgrada, stambenih blokova ili dijelova grada (toplana)
- Sustavi posebne izvedbe – obnovljivi izvori

Pojedinačne grijače predstavljaju peći raznih izvedbi, električne grijalice, kamini te kaloriferi koji se postavljaju u prostor koji želimo zagrijati. Koriste se često u stambenim prostorima. Sustavi centralnog grijanja koriste posredni ogrjevni medij kako bi distribuirali toplinu od izvora topline do ogrjevnih tijela preko kojih se toplinski tok predaje grijanom prostoru. Tipičan primjer centralnog grijanja zgrade predstavlja sustav radijatorskog grijanja s vodom, kao posrednim ogrjevnim medijom, te kotlom kao izvorom topline. Sustavi daljinskog grijanja, za razliku od centralnih sustava, opskrbljuju veliki broj potrošača (više zgrada ili stambenih

blokova). Sustavi posebne izvedbe koriste sunčevu energiju, energiju biomase ili dizalice topline za grijanje.

Podjela vrste sustava grijanja prema **ogrjevnom mediju**:

- Toplozračni sustavi
- Zračno-vodeni sustavi
- Toplovodni sustavi (temperatura vode $\leq 105^{\circ}\text{C}$)
- Vrelvodni sustavi (temperatura vode $> 105^{\circ}\text{C}$)
- Parni sustavi

Toplozračni sustavi koriste topli zrak kao ogrjevni medij, koji se preko istrujnih otvora ubacuje u grijani prostor. Zrak se priprema u klima strojarnici koja se obično nalazi izvan klimatiziranog prostora, te je potreban znatno veći prostor za kanalski razvod u odnosu na druge sustave. Iz navedenog razloga konstruirani su zračno-vodeni sustavi čijom se primjenom znatno smanjuje presjek strujanja ogrjevnog medija. Kod toplovodnih/vrelvodnih sustava ogrjevni medij je voda, te se takvi sustavi najčešće koriste u Hrvatskoj. Parni sustavi se koriste vrlo rijetko za grijanje zgrada, a najčešća im je primjena u industriji.

Današnji moderni sustavi za grijanje stambenih objekata koriste napredne, energetske učinkovite tehnologije kao što su niskotemperaturno grijanje koristeći kondenzacijske kotlove i modernu regulaciju.

Brojni su faktori koji utječu na izbor sustava grijanja:

- Vremenski uvjeti (geografska lokacija)
- Položaj i tip zgrade (stambena, poslovna, školska ...)
- Vrijeme korištenja zgrade
- Raspoloživost izvora energije (električna energija, fosilna goriva, biomasa, obnovljivi izvori energije ...)
- Investicijski i pogonski troškovi
- Zakoni, propisi, norme, preporuke
- Utjecaj na okoliš

1.2.1. Toplovodni sustavi grijanja

Toplovodni sustavi grijanja često se nazivaju sustavima centralnog grijanja zbog postojanja središnjeg toplinskog izvora koji opskrbljuje toplineom veći broj prostorija ili cijelu zgradu. Toplovodni sustavi grijanja koriste vruću vodu temperature do 105°C koja kruži između kotla, kao toplinskog izvora, i ogrjevnih tijela, kao toplinskih potrošača. Uobičajene radne temperature vode (polaz/povrat) za standardni sustav iznose 90/70°C, 80/60°C i 75/60°C. Niskotemperaturni sustav ima temperaturu polaza 40°C, a povrata 30°C [1].

Prednosti toplovodnog sustava, u odnosu na pojedinačne grijače:

- Jednolika razdioba temperature u prostoru
- Mali broj kotlova i dimnjaka
- Jednostavno upravljanje
- Centralno upravljanje – promjenom temperature vode
- Lokalno upravljanje – promjenom protoka vode
- Smanjeno zagađenje okoliša
- Baratanje gorivom izvan grijanog prostora

Nedostatci centralnog grijanja su:

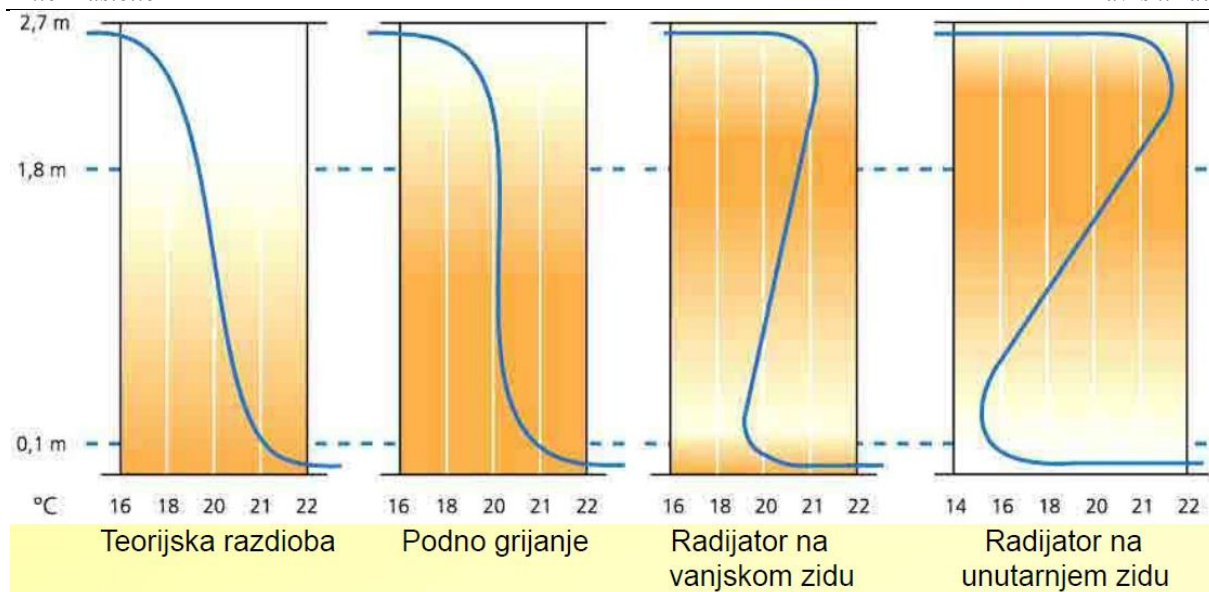
- Mjerenje potrošnje toplinske energije postaje složeno
- Visoki investicijski i pogonski troškovi
- Toplinski gubici u cijevima i kanalima
- Inercija sustava

1.2.1.1. Ogrjevna tijela

Ogrjevno tijelo predstavlja element sustava grijanja za zagrijavanje prostora tj. izmjenjivač topline kojim se prenosi toplina s ogrjevnog medija na zrak u prostoru. Zahtjevi koji se postavljaju na ogrjevna tijela:

- Ravnomjerna razdioba temperature po prostoru
- Visoka učinkovitost
- Mala masa, jednostavna ugradnja
- Jednostavno čišćenje i održavanje
- Postojanost na visoku temperaturu, visoki tlak i koroziju
- Izgled koji se uklapa u interijer
- Niska cijena

Smatra se da se neće postići toplinsku ugodnost ako nije postignuta jednolika progrijanost prostora. Smatra se da je prostorija zadovoljavajuće progrijana ako je temperaturni gradijent manji od 3°C od nogu do glave osobe unutar zone boravka. Na slici 2. prikazana je razdioba temperatura po visini prostorije za slučaj korištenja podnog grijanja te radijatora na različitim pozicijama. Dijagrami ukazuju važnost pravilnog pozicioniranja radijatora unutar prostorije, pa je mnogo pogodnije postaviti radijator na vanjski zid ispod prozora, koji je puno veći izvor toplinskih gubitaka od unutarnjeg zida. Na taj se način kompenzira propuh i gubici zračenjem i konvekcijom prema hladnom prozoru [1].



Slika 2. Razdioba temperature po visini prostorije za različitu poziciju ogrjevnog tijela

Podjela ogrjevnih tijela:

- Člankasta ogrjevna tijela (člankasti radijatori)
- Pločasta ogrjevna tijela (pločasti radijator, ogrjevne ploče)
- Konvektori
- Cijevni grijači (cijevni registri, kupaonski i kuhinjski grijači)
- Površinski grijači (podni, stropni i zidni paneli)

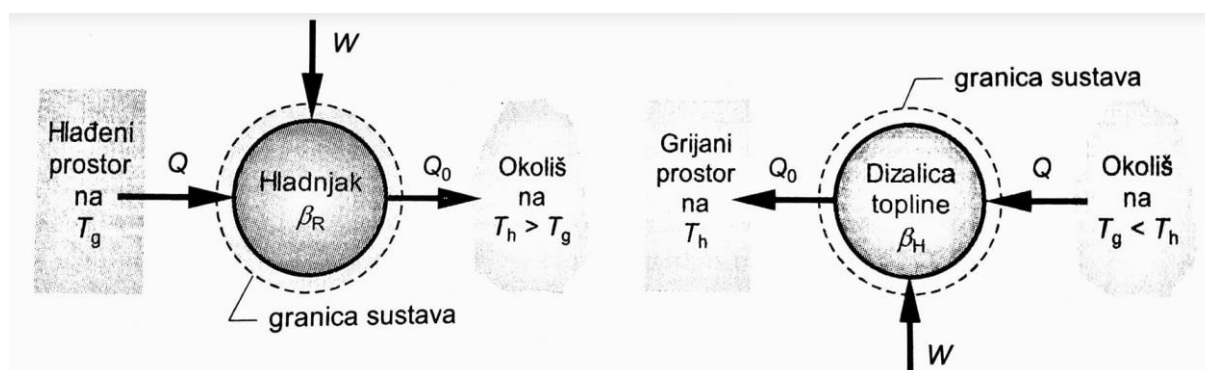


Slika 3. Pločasti radijator [2]

Kod svih navedenih ogrjevnih tijela, osim površinskih, prevladavajući način izmjene topline je konvekcijom. Člankasti i pločasti radijatori su najčešće korišteni u stambenim objektima. Primjer cijevnog grijača su tzv. kupaonske ljestve koje se uobičajeno postavljaju u kupaonama, dok su konvektori češći u javnim i poslovnim zgradama. Površinski grijači su specifični po tome što čak dvije trećine toplinskog toka predaju zračenjem. Zbog povoljnije srednje temperature ploha u prostoriji, moguće je istu toplinsku ugodnost postići s nešto nižim temperaturama zraka. Smatra se da panelni grijači postižu isti efekt ugodnosti s 2 °C nižim temperaturama zraka, nego u slučaju konvektivnih grijača.

1.2.2. Dizalice topline

Dizalice topline (eng. *heat pumps*, njem. *Wärmepumpen*), toplinske crpke ili toplinske pumpe su uređaji koji prenose toplinu s niže na višu temperaturu, uz utrošak mehaničkog rada. Sve češće se odabiru kao rješenje u zgradarstvu zbog svog minimalnog utjecaja na okoliš. U usporedbi s klasičnim načinima grijanja koji proizvode dimne plinove, dizalice topline troše električnu energiju koja se primarno zasniva na korištenju primarnih energenata. Visoko učinkovit sustav, neosjetljiv na fluktuacije cijena primarnih energenata postaje sve boljim izborom u zgradarstvu 21. stoljeća. Ideja dizalice topline bazira se na uzimanju „besplatne“ topline okoliša bez potrebe za fosilnim gorivima, izuzev utroška električne energije. Dizalice topline imaju mogućnost preokretanja ciklusa te rada kroz cijelu godinu, ljeti za hlađenje, zimi za grijanje.



Slika 4. Shematski prikaz hladnjaka i dizalice topline [3]

Hladnjak se koristi za održavanje temperature neke prostorije ispod temperature okoliša, a dizalica topline se, s druge strane koristi za održavanje temperature grijanog prostora na temperaturi višoj od temperature okoliša. Mjera pretvorbe koja se koristi za hladnjake i toplinske pumpe nazvana je faktorom pretvorbe β , a koji se definira kao odnos željene topline i uloženog vanjskog mehaničkog rada [3].

Za rashladni uređaj, shodno oznakama na slici 4., faktor hlađenja iznosi:

$$\beta_R = -\frac{Q}{W} = -\frac{\Phi_i}{P} = EER$$

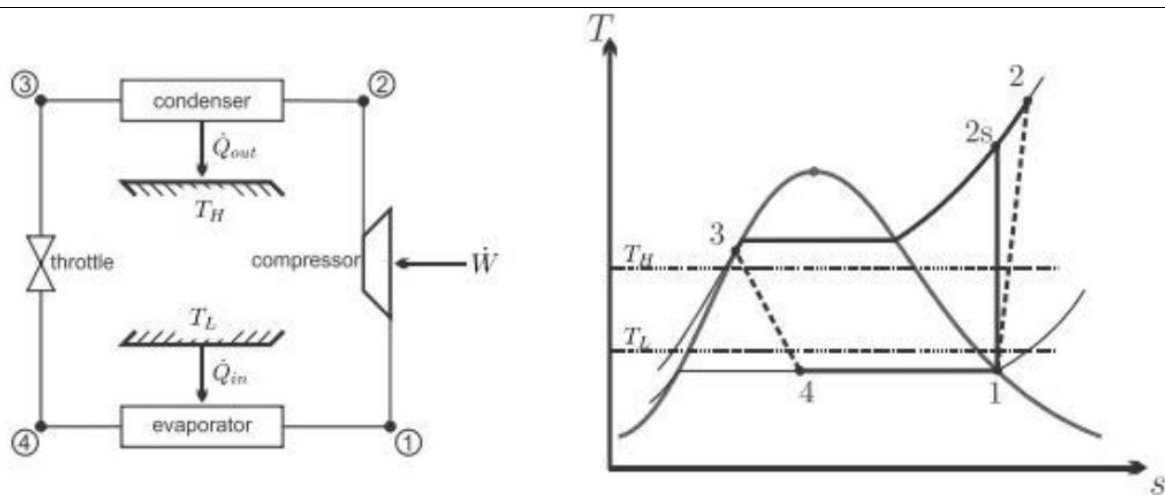
- EER (eng. *energy efficiency ration*)
- Φ_i – toplinski učin isparivača [kW]
- P – snaga za pogon kompresora [kW]

Za dizalicu topline, shodno gornjoj slici, faktor grijanja je:

$$\beta_H = \frac{Q_0}{W} = \frac{\Phi_k}{P} = COP$$

- COP (eng. *coefficient of performance*)
- Φ_k – toplinski učin kondenzatora [kW]
- P – snaga za pogon kompresora [kW]

Svaka dizalica topline radi na principu ljevokretnog Carnotovog kružnog ciklusa s redukcijskim ventilom, prikazanog na slici 5. izmjenjujući toplinu između toplinskih spremnika na temperaturama T_L i T_H .



Slika 5. Shema i T-s dijagram ljevokretnog ciklusa između temperatura T_L i T_H [1]

- 1 – 2 kompresijom se podiže tlak i temperatura radne tvari
- 2 – 3 kondenzacijom radna tvar predaje toplinu okolišu ili drugoj radnoj tvari tzv. drugog kruga
- 3 – 4 ekspanzijom unutar ekspanzijskog ventila smanjuju se tlak i temperatura radne tvari da može preuzeti toplinu u isparivačkom dijelu
- 4 – 1 isparavanjem radne tvari troši se energija toplinskog spremnika, tj. radna tvar preuzima toplinu za daljnji ciklus

Toplinski spremnik kod hladnjaka pri temperaturi T_L predstavlja hlađeni prostor dok toplinski spremnik pri temperaturi T_H predstavlja okoliš.

U slučaju dizalice topline, toplinski spremnik temperature T_L predstavlja okoliš dok temperatura T_H , grijani prostor.

Dizalice topline, osim sa zrakom, toplinu izmjenjuju s vodom ili tlom na taj način smanjujući potrebnu snagu za pogon kompresora (razlika među temperaturama T_L i T_H se smanjuje pa je potreban rad manji). Tlo i voda imaju manje oscilacije temperature kroz cijelu godinu pa je učinkovitije koristiti ih kao toplinske spremnike, u odnosu na zrak. Distribuciju topline između toplinskih spremnika obavlja radna tvar (R134a, R410a, CO₂, R407C, ...).

Dizalice topline se razlikuju ovisno o izvoru topline te načinu distribucije topline u grijanom/hlađenom objektu:

- Zrak – zrak
- Zrak – voda
- Tlo – voda

Sustav zrak – zrak koristi toplinu okolišnog zraka, te ju predaje korisniku preko izmjenjivača topline na unutarnji zrak. Zrak – voda koristi toplinu okolišnog zraka te ju predaje korisniku preko hidrauličkog distribucijskog sustava (radijator, konvektor, podno grijanje), dok sustav tlo – voda uglavnom koristi toplinu tla te ju predaje korisniku preko hidrauličkog distribucijskog sustava[4].

Najčešće korištena izvedba dizalice topline u stambenim objektima je dizalica zrak – zrak u razdvojenoj (eng. *split*) izvedbi, s unutarnjom i vanjskom jedinicom. Prednost dizalice zrak – zrak je u jednostavnosti izmjene topline, kompaktnosti, manjim investicijskim troškovima i nepostojanju potrebe za dugotrajnim građevinarskim radovima.

2. PRORAČUN PROJEKTOG TOPLINSKOG OPTEREĆENJA PREMA HRN EN 12831 [5]

2.1. Projektni toplinski gubici prostorije

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad [W]$$

$\Phi_{T,i}$ – projektni transmisijski gubici topline prostorije [W]

$\Phi_{V,i}$ – projektni ventilacijski gubici topline prostorije [W]

2.1.1. Projektni transmisijski gubici

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij})(\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W]$$

$H_{T,ie}$ – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu [W/K]

$H_{T,iue}$ – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu [W/K]

$H_{T,ig}$ – stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu [W/K]

$H_{T,ij}$ – koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature [W/K]

$\theta_{int,i}$ – unutarnja projektna temperatura grijanog prostora [°C]

θ_e – vanjska projektna temperatura [°C]

2.1.1.1. Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu – koeficijent gubitka $H_{T,ie}$

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k U_k e_k + \sum_l \psi_l l_l e_l \quad [W/K]$$

A_k – površina plohe „k“ (zid, prozor, vrata, strop, pod) kroz koju prolazi toplina [m²]

e_k , e_l – korekcijski faktor izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske utjecaje kao vlažnost, temperatura, brzina vjetra. Određuju se na nacionalnoj razini. Ako vrijednosti nisu određene na nacionalnoj razini uzeti = 1.

U_k – koeficijent prolaza topline građevnog elementa „k“ [W/m²K]

l_l – dužina linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije [m]

ψ_l – linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta „l“ [W/mK]

2.1.1.2. Transmisijski gubici kroz negrijane prostore prema vanjskom okolišu – koeficijent gubitka $H_{T,iue}$

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k U_k b_u + \sum_l \psi_l l_l b_u \quad [W/K]$$

b_u – faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projektnu temperaturu

Faktor smanjenja temperaturne razlike se određuje na jedan od sljedećih načina:

- a) ako je temperatura negrijanog prostora poznata ili se računa, onda:

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-]$$

Temperatura u negrijanim prostorima θ_u može se izračunati prema DIN 4107 iz 1959. godine:

$$\theta_u = \frac{\sum_i (UA)_{int,i} \theta_{int,i} + \sum_j (UA)_{ue,j} \theta_e}{\sum_i (UA)_{int,i} + \sum_j (UA)_{ue,j}} \quad [^{\circ}C]$$

$\Sigma(UA)_{int,i}$ – suma umnožaka UA za pregrade prostorije koje graniče sa susjednim prostorijama [W/K]

$\Sigma(UA)_{ue,j}$ – suma umnožaka UA za pregrade prostorije koje graniče s vanjskim zrakom [W/K]

- b) ako je temperatura negrijanog prostora nepoznata, onda prema preporučenim vrijednostima:

Tablica 2. Faktor smanjenja temperaturne razlike, b_u

Negrijani prostor	b_u
Prostorija	
sa 1 vanjskim zidom	0,4
sa najmanje 2 vanjska zida bez vanjskih vrata	0,5
sa najmanje 2 vanjska zida i vanjskim vratima (npr. garaze, hodnjici)	0,6
sa 3 vanjska vrata (npr. vanjsko stubiste)	0,8
Podrum	
- bez prozora/vanjskih vrata	0,5
- sa prozorima/vanjskim vratima	0,8
Potkrovlje	
- neizolirani krov velike propusnosti (npr. crijep ili drugi nekontinuirani pokrov)	1,0
- drugi tipovi krova bez izolacije	0,9
- izolirani krov	0,7
Uutarnji neventilirani prostori (bez vanjskih zidova, broj izmjena zraka manji od $0,5 \text{ h}^{-1}$)	0
Unutarnji prostori sa prirodnom ventilacijom (povrsina otvora/volumen prostorije $>0.005 \text{ m}^2/\text{m}^3$)	1,0
Podignuti pod (pod iznad razine tla)	0,8

2.1.1.3. Gubici topline prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu – koeficijent transmisijskih gubitaka $H_{T,ij}$

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} A_k U_k \quad [W/K]$$

f_{ij} – faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između temperature susjednog prostora i vanjske projektne temperature:

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{ads}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-]$$

θ_{ads} – temperatura susjednog prostora [$^{\circ}C$]

2.1.2. Ventilacijski toplinski gubici

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [W]$$

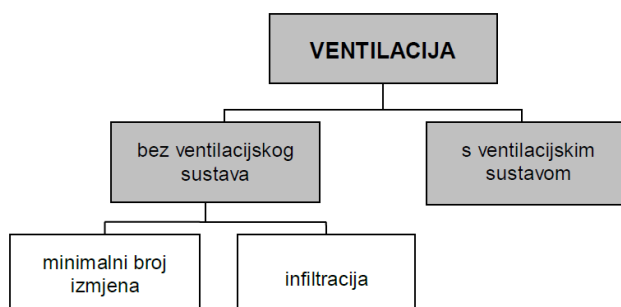
$H_{V,i}$ – koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka [W/K]

$\theta_{int,i}$ – unutarnja projektna temperatura grijanog prostora [$^{\circ}C$]

θ_e – vanjska projektna temperatura [$^{\circ}C$]

$$H_{V,i} = V_{i,uk} \rho c_p = 0,34 V_{i,uk} \quad [W/K]$$

$V_{i,uk}$ – protok zraka u grijani prostor [m^3/h]



Slika 6. Određivanje protoka zraka $V_{i,uk}$

2.1.2.1. Protok zraka bez ventilacijskog sustava

$$V_{i,uk} = \max(V_{inf,i}, V_{min,i})$$

$V_{inf,i}$ – maksimalni protok zraka u prostoriju uslijed infiltracije kroz zazore

$V_{min,i}$ – minimalni higijenski protok zraka

U daljnji proračun se odabire veći protok od navedena dva.

$$V_{min,i} = n_{min} V_i \quad [m^3/h]$$

V_i – volumen prostorije izračunat prema unutarnjim dimenzijama (volumen zraka) $[m^3]$

n_{min} – minimalni broj izmjena zraka (nacionalni dodatak) $[h^{-1}]$

Tablica 3. Minimalni broj izmjena zraka n_{min}

Tip prostorije	$n_{min} [h^{-1}]$
Prostor za boravak (default)	0,5
kuhinja ili kupaona sa prozorom	1,5
Uredski prostor	1,0
Soba za sastanke, učiona	2,0

Infiltracija kroz zazore:

$$V_{inf,i} = 2 V_i n_{50} e_i \varepsilon_i \quad [m^3/h]$$

n_{50} - broj izmjena zraka u prostoriji $[h^{-1}]$ pri razlici tlaka od 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša

e_i – koeficijent zaštićenosti, uzima u obzir utjecaj vjetrova odnosno zaštićenost zgrade i broj otvora prema okolišu

ε_i – korekcijski faktor za visinu, uzima u obzir različit odnos tlakova povećanjem visine iznad okolnog tla

Tablica 4. Broj izmjena zraka, n_{50}

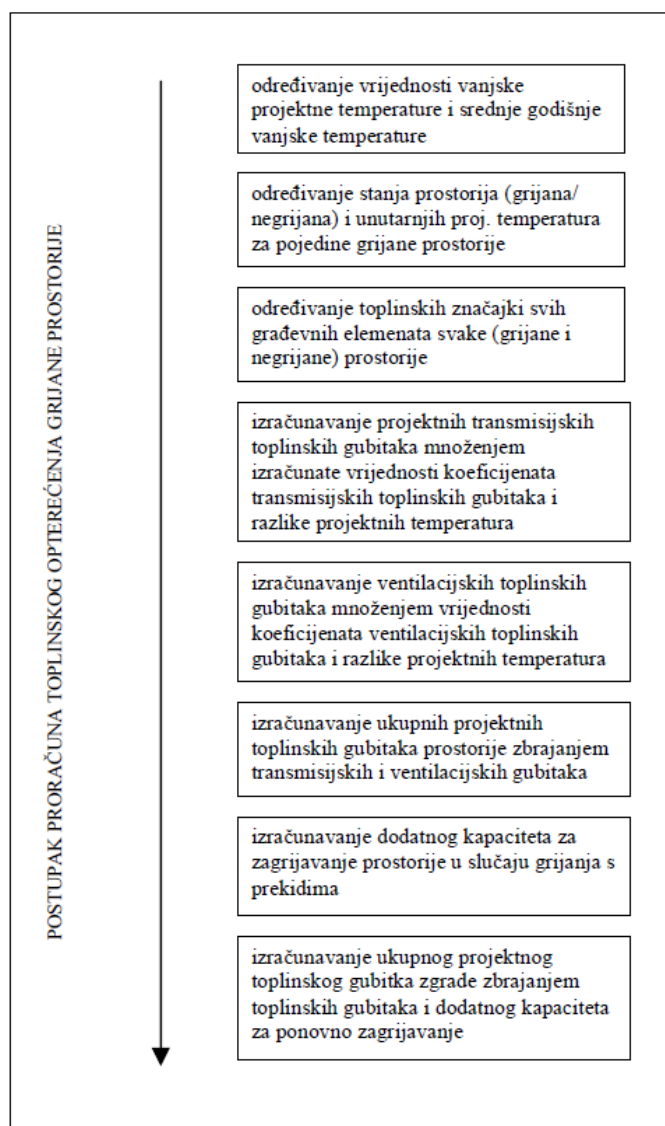
Građevina	$n_{50} [\text{h}^{-1}]$		
	stupanj zabrtvljenosti		
	visok (dobro zabrtvljeni prozori i vrata)	srednji (dvostruki prozori, normalno zabrtvljeni)	nizak (jednostruki prozori bez brtvi)
Obiteljska kuća	< 4	4 – 10	> 10
ostali tipovi zgrada	< 2	2 – 5	> 5

Tablica 5. Koeficijent zaštićenosti e_i

Klasa zaštićenosti	e_i		
	Grijani prostor bez vanjskih otvora	Grijani prostor s jednim vanjskim otvorom	Grijani prostor s više od jednog vanjskog otvora
Bez zaštite (Građvine na vjetrovitom području, visoke zgrade u gradovima)	0	0,03	0,05
Srednja zaštita (građvine okružene drvećem i drugim zgradama)	0	0,02	0,03
Visoka zaštita (građvine srednje visine u centru grada, građvine u šumi)	0	0,01	0,02

Tablica 6. Korekcijski faktor za visinu, ε_i

Visina grijanog prostora iznad tla (sredina visine prostorije do razine tla)	ε_i
0 – 10 m	1,0
> 10 – 30 m	1,2
> 30 m	1,5



Slika 7. Postupak proračuna toplinskog opterećenja grijane prostorije

3. PRORAČUN POTREBNE ENERGIJE ZA GRIJANJE PROSTORA ZGRADE PREMA HRN EN ISO 13790 [6]

3.1. Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje $Q_{H,nd,cont}$

Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje jest računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja zgrade. Potrebna toplinska energija za grijanje:

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad [kWh]$$

$Q_{H,nd,cont}$ – potrebna toplinska energija za grijanje pri kontinuiranom radu [kWh]

$Q_{H,ht}$ – ukupno izmijenjena toplinska energija u periodu grijanja [kWh]

$Q_{H,gn}$ – ukupni toplinski dobici zgrade u periodu grijanja (ljudi, uređaji, rasvjeta i sunčevo zračenje) [kWh]

$\eta_{H,gn}$ – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka [-]

Prema HRN EN ISO 13790 postoje tri pristupa proračunu potrošnje energije za grijanje s obzirom na vremenski korak proračuna:

- Kvizistacionarni proračun na bazi sezonskih vrijednosti
- Kvizistacionarni proračun na bazi mjesečnih vrijednosti
- Dinamički proračun s vremenskim korakom od jednog sata ili kraćim

Kod energetskog certificiranja zgrada, za proračun $Q_{H,nd,cont}$ koristi se kvazistacionarni proračun na bazi mjesečnih vrijednosti. Godišnja vrijednost potrebne toplinske energije za grijanje izračunava se kao suma pozitivnih mjesečnih vrijednosti.

3.2. Proračunske zone

Podjela na proračunske zone za koje se odvojeno računa potrebna energija za grijanje i hlađenje, te se za svaku zonu zasebno izdaje energetska certifikat, provodi se za dijelove zgrade ako se razlikuju:

- Vrijednosti unutarnje projektne temperature za više od 4°C
- Namjena drugačija od osnovne i to u iznosu od 10% i više neto podne površine prostora veće od 50 m²
- U pogledu ugrađenog termotehničkog sustava i njegovog režima uporabe

Proračun prema normi HRN EN ISO 13790 moguć je na tri načina:

- Cijela zgrada tretirana kao jedna zona
- Zgrada podijeljena u nekoliko zona, među kojima je razlika unutarnjih temperatura < 5°C, pa se izmjena između samih zona ne uzima u obzir
- Zgrada podijeljena u nekoliko zona, među kojima je razlika unutarnjih temperatura ≥ 5°C

3.3. Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje $Q_{H,nd}$

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{H,gn}(Q_{int} + Q_{sol}) \quad [kWh]$$

Q_{Tr} – izmijenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu [kWh]

Q_{Ve} – potrebna toplinska energija za ventilaciju/klimatizaciju za proračunsku zonu [kWh]

$\eta_{H,gn}$ – faktor iskorištenja toplinskih dobitaka [-]

Q_{int} – unutarnji toplinski dobici zgrade (ljudi, uređaji, rasvjeta) [kWh]

Q_{sol} – toplinski dobici od Sunčeva zračenja [kWh]

Izmijenjena toplinska energija transmisijom i ventilacijom proračunske zone za promatrani period računa se pomoću koeficijenta toplinske izmjene topline H (W/K):

$$Q_{Tr} = \frac{H_{Tr}}{1000} (\theta_{int,H} - \theta_e) t \quad [kWh]$$

$$Q_{Ve} = \frac{H_{Ve}}{1000} (\theta_{int,H} - \theta_e) t \quad [kWh]$$

H_{Tr} – koeficijent transmisije izmjene topline proračunske zone [W/K]

H_{Ve} – koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone [W/K]

$\theta_{int,H}$ – unutarnja postavna temperatura grijane zone [°C]

$\theta_{e,m}$ – srednja vanjska temperatura za proračunski period (sat ili mjesec) [°C]

t – trajanje proračunskog razdoblja [h]

Napomena:

- Kod mjesečne metode t = ukupan broj sati u mjesecu
- Kod satne metode $t = 1$ h unutar perioda kada radi sustav grijanja

Izračun koeficijenta H_{Tr} je jednak kao u normi HRN EN 12831 pa je konačni iznos u [W/K] preuzet iz navedene norme i primijenjen u ovoj normi. Isto je učinjeno s koeficijentom ventilacijske izmjene topline H_{Ve} .

3.3.1. Ukupni toplinski dobiti za proračunski period

$$Q_{H,gN} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [kWh]$$

3.3.1.1. Unutarnji toplinski dobiti

Unutarnji toplinski dobiti Q_{int} od ljudi i uređaja računaju se s vrijednošću 5 W/m² ploštine korisne površine za stambene prostore, a 6 W/m² za nestambene prostore.

$$Q_{int} = \frac{q_{spec} A_K t}{1000} \quad [kWh]$$

q_{spec} – specifični unutarnji dobitak po m^2 korisne površine, 5 W/m^2 korisne površine

A_K – korisna površina [m^2]

t – proračunsko vrijeme [h]

Tablica 7. Broj dana i sati u mjesecu

Mjesec	Broj dana	Vrijeme, h
1.	31	744
2.	28	672
3.	31	744
4.	30	720
5.	31	744
6.	30	720
7.	31	744
8.	31	744
9.	30	720
10.	31	744
11.	30	720
12.	31	744
Godina	365	8760

3.3.1.2. Toplinski dobici od Sunčeva zračenja Q_{sol}

$$Q_{\text{sol}} = \sum_k Q_{\text{sol},k} + \sum_l (1 - b_{\text{tr},l}) Q_{\text{sol},u,l} \quad [\text{kWh}]$$

$Q_{\text{sol},k}$ – srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz k-ti građevni dio u grijani prostor [kWh]

$Q_{\text{sol},u,l}$ – srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz l-ti građevni dio u susjedni negrijani prostor [kWh]

$b_{\text{tr},l}$ – faktor smanjenja za susjedni negrijani prostor s unutarnjim toplinskim izvorom l prema HRN EN ISO 13789 [-]

Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz građevni dio zgrade k:

$$Q_{sol,k} = \frac{F_{sh,ob} S_{s,k} A_{sol,k}}{3,6} - \frac{F_{r,k} \Phi_{r,k} t}{1000} \quad [kWh]$$

$F_{sh,ob}$ – faktor zasjenjenja od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja

$S_{s,k}$ – srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k za promatrani period [MJ/m²]

$A_{sol,k}$ – efektivna površina građevnog elementa (otvora, zida) k na koju upada sunčevo zračenje [m²]

$F_{r,k}$ – faktor oblika između otvora k i neba (za nezasjenjeni vodoravni krov je jednak jedinica, za nezasjenjeni okomiti zid 0,5)

$\Phi_{r,k}$ – toplinski tok zračenjem od površine otvora k prema nebu [W]

t – proračunsko vrijeme [h]

$A_{sol,k}$ – efektivna površina otvora k (prozirnog elementa) na koju upada sunčevo zračenje [m²]

$$A_{sol,k} = F_{sh,gl} g_{gl} (1 - F_F) A_{pr} \quad [m^2]$$

$$g_{gl} = F_W g_{\perp} \quad [-]$$

$F_{sh,gl}$ – faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja

g_{gl} – ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente kada pomično zasjenjenje nije uključeno

g_{\perp} – stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno

F_W – faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja = 0,9

F_F – udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora (0,2 – 0,3)

A_{pr} – ukupna površina prozora [m²]

Faktor zasjenjenja $F_{sh,ob}$ od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevog zračenja (susjedne zgrade, konfiguracije terena, vanjski dijelovi otvora prozora) računa se po formuli:

$$F_{sh,ob} = F_{hor} F_{ov} F_{fin}$$

F_{hor} – parcijalni faktor zasjenjenja zbog konfiguracije terena u ovisnosti o orijentaciji plohe, kuta horizonta i zemljopisnoj širini

F_{ov} – parcijalni faktor zasjenjenja zbog gornjih elemenata prozorskog otvora u ovisnosti o orijentaciji plohe, kutu gornjeg zasjenjenja α , zemljopisnoj širini

F_{fin} – parcijalni faktor zasjenjenja zbog bočnih elemenata prozorskog otvora u ovisnosti o orijentaciji plohe, kutu bočnog prozorskog zasjenjenja β , zemljopisnoj širini

Koristeći tablice iz norme, $F_{sh,ob}$ iznosi 0,9.

Toplinski tok zračenja k-tog građevnog elementa prema nebu:

$$\Phi_{r,k} = R_{se} U_c A_c h_r \Delta \vartheta_{er} \quad [W]$$

R_{se} – plošni toplinski otpor vanjske površine zida/krova = 0,04 m²K/W

U_c – koeficijent prolaska topline zida/krova [W/m²K]

A_c – projicirana površina zida [m²]

h_r – vanjski koeficijent prijelaza topline zračenjem = 0,45 W/m²K

$\Delta \vartheta_{er}$ – prosječna temperaturna razlika vanjske temperature traka i temperature neba $\approx 10^\circ\text{C}$

3.3.2. Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje

Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka $\eta_{H,gn}$ (unutarnjih dobitaka i dobitaka od sunčevog zračenja) je funkcija efektivnog toplinskog kapaciteta zgrade i računa se na sljedeći način:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - y_H^{a_H}}{1 - y_H^{a_H+1}} \text{ za } y_H > 0 \text{ i } y_H \neq 1 \quad [-]$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \text{ za } y_H = 1 \quad [-]$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{1}{y_H} \text{ za } y_H < 0 \quad [-]$$

a_H – bezdimenzijski parametar ovisan o vremenskoj konstanti zgrade τ [-]

y_H – omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmijenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja:

$$y_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [-]$$

Bezdimenzijski parametar računa se iz sljedećeg izraza:

$$a_H = a_0 + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad [-]$$

$\tau_{H,0}$ – referentna vremenska konstanta za grijanje; za mjesečni proračun iznosi 15h

Vremenska konstanta zgrade τ [h]:

$$\tau = \frac{C_m/3600}{H_{Tr} + H_{Ve}} \quad [h]$$

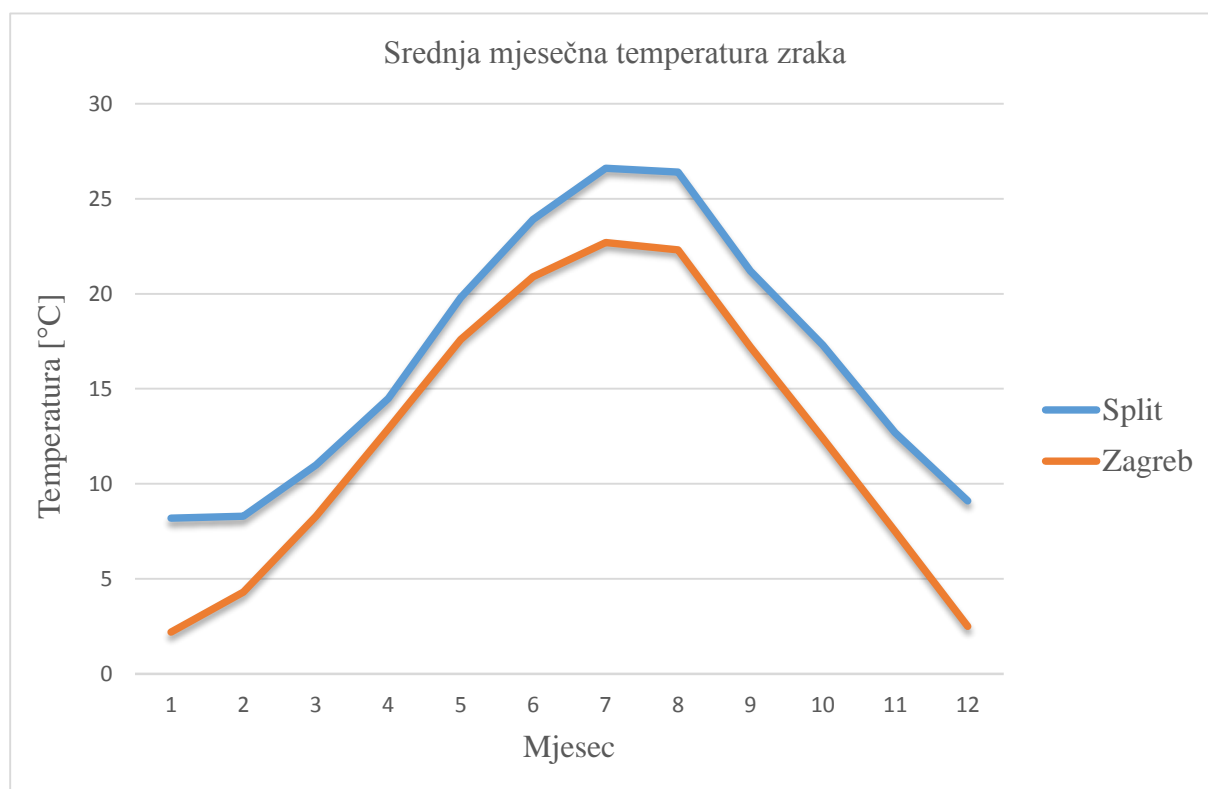
C_m – efektivni toplinski kapacitet grijanog dijela zgrade (zone) = 20673,75 J/K

3.4. Osnovna usporedba proračuna po normama HRN EN 12831 i HRN EN ISO 13790

Osnovna razlika između normi je u tome što je HRN EN 12831 stacionarna metoda koja računa toplinsko opterećenje u kW, dok HRN EN ISO 13790 računa potrebnu energiju za grijanje i hlađenje u kWh. Prva norma se koristi za dimenzioniranje postrojenja za projektne uvjete, te nam ne daje informaciju o utrošku energije, u potpunosti zanemarujući toplinske dobitke. Druga norma se koristi za energetska certificiranje zgrada, te je mnogo detaljnija i uzima u obzir solarne dobitke koji su često nezanemarivi. HRN EN ISO 13790 može računati toplinsku energiju za grijanje mjesečnom, sezonskom ili satnom metodom, što uvelike povećava točnost cjelokupnog proračuna.

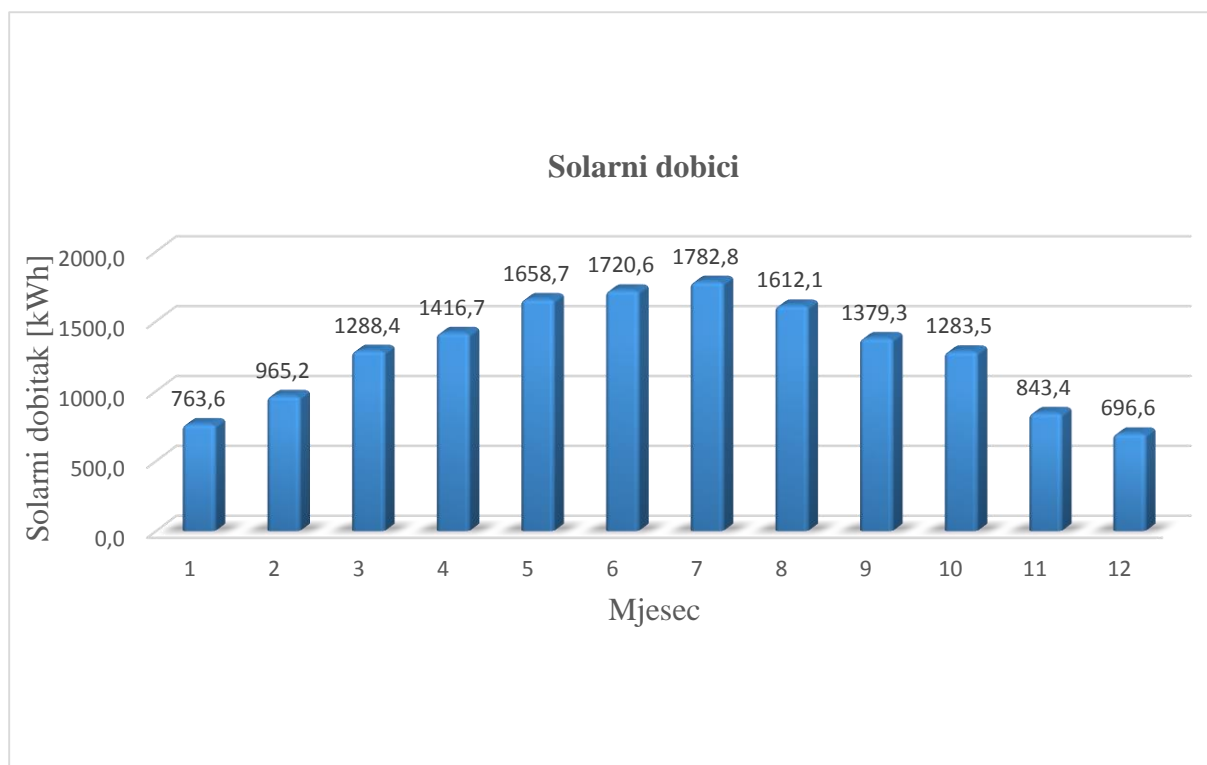
4. OPIS PROBLEMA

Grad Split je klimatski gledano vrlo specifično područje za grijanje, pozicionirano u središtu Dalmacije s vrlo malo dana u godini s temperaturom ispod 0°C i brojem sunčanih sati većih od 2600. Srednja mjesečna temperatura zraka u Splitu je viša i do 6°C usred zime u odnosu na Zagreb, što je prikazano slikom 8. Postojanje centraliziranog toplinskog sustava (CTS-a) za malen broj zgrada i odnedavno plinoficiranje grada, postavlja pitanje isplativosti tipova grijanja, gdje u fokus dolazi grijanje plinom ili korištenje dizalica topline, kao energetski učinkovito, moderno i estetsko rješenje za stanove u zgradama. Veliki građevinski boom 70-ih ostavio je za sobom velik potencijal za energetske obnovu zgrada, što u trenutku pisanja rada nije baš iskorišteno. Toplinska izolacija je rijetkost, pa je pitanje koje se postavlja hoće li se uopće stare zgrade obnavljati, jer je parametar toplinske ugodnosti u takvim stanovima upitan bez velikog utroška električne energije. Priliku za poboljšanje toplinske ugodnosti se vidi u nedavnoj plinifikaciji Dalmacije i mogućnosti postavljanja centralnog grijanja.



Slika 8. Usporedba srednjih mjesečnih temperatura zraka za Split i Zagreb [7]

Zbog nepostojanja toplinske izolacije, interakcija s okolišem je značajno veća, pa se postavlja pitanje trajanja sezone grijanja uz značajne solarne dobitke kroz godinu, što je vidljivo na slici 9. Iz potonje slike se uočavaju veliki dobitci u ljetnom periodu, ali i nezanemarivi dobitci u periodu grijanja.



Slika 9. Solarni dobitci strana u gradu Splitu

4.1. Tehnički opis prostorije

Primjer stana za koji se računa energija za grijanje je stan u višekatnici, prosječne veličine od približno 56 m² korisne površine. Detaljan tlocrt stana prikazan je u Prilogu.

Koeficijenti prolaza topline U ili k [W/m²K] dobiveni su primjenom osnovnog znanja termodinamike i prikazani tablicama 8. i 9.

	Vanjski zid beton 20cm	$\lambda(\alpha)$	$1/\lambda(1/\alpha)$	d [m]	R=1/k
1	Prijelaz topline vanjska stijenska-vanjski zrak	25,00	0,040		0,04
2	Vanjska žbuka	0,81	1,229	0,005	0,006
3	Armirani beton	2,60	0,385	0,200	0,077
4	Unutarnja žbuka	1,01	0,988	0,020	0,020
5	Prijelaz topline unutarnja stijenska-unutarnji zrak	8,00	0,125		0,125
				ΣR	0,268
	Ukupni prolaz topline:			$k=1/\Sigma R$	3,734

Tablica 8. Koeficijent prolaza topline za vanjski zid [8]

Tablica 9. Koeficijent prolaza topline kroz pod [8]

	Pod - parket	$\lambda(\alpha)$	$1/\lambda(1/\alpha)$	d [m]	R=1/k
1	Prijelaz topline pod-zrak	5,00	0,200		0,200
2	Armirani Beton	2,60	0,385	0,170	0,065
3	Hidroizolacija	0,30	3,333	0,008	0,027
5	Estrih	1,60	0,625	0,050	0,031
6	Parket	0,15	6,667	0,025	0,167
7	Prijelaz toplina unutarnja stijenska-unutarnji zrak	5,00	0,200		0,2
				ΣR	0,690
	Ukupni prolaz topline:			$k=1/R$	1,449

Tablica 10. Vrijednost parametara potrebnih za izračun toplinskih mostova

Visina stana	2,6	m
Površina stana	55,875	m ²
U za prozore	2,3	W/m ² K
ψ_1 - prozori	0,12	W/mK
ψ_1 - horizontalni spoj	0,33	W/mK
ψ_1 - vertikalni most	0,33	W/mK
ψ_1 - unut.ulazna vrata	0,125	W/mK
Visina vertikalnog mosta	2,85	m

Tablica 11. Izračun koeficijenta transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu, bez toplinskih mostova

Prostorija	Orijentacija	Površina zida	Koef. prolaza	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$	Površina stakala	Koef. prolaza	$A_k \cdot U_k \cdot e_k$ (prozor)
Kuhinja	S	5,46	3,734	20,39	4,16	2,3	9,57
SS1	SZ	14,17	3,734	52,91	4,16	2,3	9,57
WC	Z	4,8	3,734	17,92	0,66	2,3	1,52
SS2	JZ	7,93	3,734	29,61	9,1	2,3	20,93
Dn.boravak	J	0	0	0,00	9,1	2,3	20,93
Σ				120,82	Σ		62,51

Tablica 12. Izračun toplinskih mostova za koeficijent gubitaka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu

Prostorija	Orijentacija	Dužina	Linijski koef.	$\psi_l * l * e_l$	Opis
Kuhinja	S	13,6	0,12	1,632	prozori
		7,4	0,33	2,442	horizontalni spoj
SS1	SZ	2,85	0,330	0,9405	vertikalni most
	S	13,6	0,12	1,632	prozori
	I-Z	7,6	0,33	2,508	horizontalni spoj
	S-J	6,5	0,33	2,145	horizontalni spoj
WC	Z	3,4	0,120	0,408	prozor
	S-J	4,2	0,33	1,386	horizontalni spoj
SS2	JZ	2,85	0,330	0,9405	vertikalni most
	J	12,2	0,120	1,464	prozor
	S-J	7	0,33	2,31	horizontalni spoj
Dn.boravak	J	12,2	0,120	1,464	prozor
	I-Z	7	0,33	0,09625	horizontalni spoj
Σ				19,3683	

Ukupni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu ($H_{T,ie}$) se dobije zbrajanjem svih suma, po svim prostorijama i orijentacijama i iznosi 202,7 W/K. Daljnjim slikama prikazani su preostali koeficijenti gubitaka.

Tablica 13. Izračun toplinskih koeficijenata gubitaka od grijanog prostora preko negrijanog prema vanjskom okolišu

Prostor.	Orij.	Površina zida	U	Površina vrata	U	b_u	$A_k \cdot U_k \cdot b_u$
Kuh.	S	6,5	3,711	0	0	0,4167	10,05
Hodn.	I	1,3	3,711	2,6	2	0,4167	4,18
						Σ	14,23

Tablica 14. Izračun toplinskih mostova za koeficijent gubitaka od grijanog prostora preko negrijanog prema vanjskom okolišu

Prostorija	Orijentacija	Dužina	Linijski koef.	b_u	$\psi l \cdot l \cdot b_u$	Opis
Kuhinja	S	5	0,33	0,4167	0,6875	horizontalni spoj
Hodnik	I	1	0,33	0,4167	0,1375	horizontalni spoj
	I	7,2	0,125	0,4167	0,375	Ulazna vrata
				Σ	1,2	

Koeficijent gubitaka od grijanog prostora preko negrijanog prema vanjskom okolišu iznosi 15,426 W/K. Zbog toga što se stan nalazi između drugih stanova, gubici prema tlu se zamjenjuju gubicima prema drugim stanovima iznad i ispod.

Tablica 15. Izračun toplinskih koeficijenata gubitaka od grijanog prostora prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu

Prostorija	Orijentacija	Površina zida	Koef. prolaza	f_{ij}	$A_k \cdot U_k \cdot f_{ij}$
Dn.boravak	I	10,4	3,711	0,04167	1,608

Tablica 16. Izračun toplinskih koeficijenata gubitaka od grijanog prostora prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu, iznad

Prostorija	Orijentacija	Površina stropa	Koef. prolaza	f_{ij}	$A_k \cdot U_k \cdot f_{ij}$
SVE		55,875	1,449	0,042	3,374

Tablica 17. Izračun toplinskih koeficijenata gubitka od grijanog prostora prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu, ispod

Prostorija	Orijentacija	Površina poda	Koef. prolaza	f_{ij}	$A_k \cdot U_k \cdot f_{ij}$
SVE		55,875	1,449	0,042	3,374

Ukupni koeficijent gubitaka od grijanog prostora prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu iznosi 8,36 W/K.

Ukupni koeficijent transmisijskog gubitka (zbroj svih do sada transmisijskih gubitaka) jednak je 226,49 W/K.

5. REZULTATI PRORAČUNA

5.1. HRN EN 12831

Rezultati proračuna su dobiveni korištenjem alata Microsoft Office Excela te primjenjujući već spomenute norme. Za određivanje projektnog toplinskog opterećenja korištena je vanjska projektna temperatura od $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ dok je unutarnja pretpostavljena kao $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. S obzirom na to da je za primjer uzet stan unutar zgrade, ne postoje toplinski gubici prema tlu nego prema stanu iznad i ispod, koji su izračunati kao gubici od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature.

Tablica 18. Detaljan izračun ventilacijskih gubitaka

VENTILACIJSKI GUBICI			
$\Phi_{V,i}$	Projektni ventilacijski gubici topline prostorije	840,97	W
$H_{V,i}$	Koeficijent ventilacijskih gubitaka	35,04	W/K
$\Theta_{int,i}$	Unutarnja projektna temperatura grijanog prostora	20	$^{\circ}\text{C}$
Θ_e	Vanjska projektna temperatura	-4	$^{\circ}\text{C}$
ρ	Gustoća zraka	1,20	kg/m^3
C_p	Specifični toplinski kapacitet	1005,00	J/kgK
$V_{i,uk}$	Ukupni protok zraka u grijani prostor	104,60	m^3/h
V_i	Volumen prostorije izračunat prema unutarnjim dimenzijama	145,28	m^3
n_{min}	Minimalni broj izmjena zraka	0,50	1/h
$V_{min,i}$	Minimalni higijenski protok zraka	72,64	m^3/h
$V_{inf,i}$	Infiltrirani protok zraka	104,60	m^3/h
n_{50}	Broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka od 50 Pa između prostorije i okoliša	6,00	h^{-1}
e_i	Koef.zaštićenosti, uzima u obzir utjecaj vjetera odnosno zaštićenost zgrade i broj otvora prema okolišu	0,05	-
ϵ_i	Korekcijski faktor za visinu, uzima u obzir različit odnos tlakova s povećanjem visine iznad tla	1,20	-

Tablica 19. Izračun transmisivskih koeficijenata

TRANSMISIJSKI GUBICI			
$\Phi_{T,i}$	Projektni transmisivski gubici topline prostorije	5435,73	W
$H_{T,ie}$	Koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora prema okolišu	202,71	W/K
$H_{T,iue}$	Koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prema okolišu	15,43	W/K
$H_{T,ig}$	Koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora prema tlu	0	W/K
$H_{T,ij}$	Koeficijent transmisivskog gubitka od grijanog prostora prema susjednom grijanom prostoru različite temperature	8,36	W/K
$\Theta_{int,i}$	Unutarnja projektna temperatura grijanog prostora	20	°C
Θ_e	Vanjska projektna temperatura	-4	°C

Tablica 20. Ukupni proračun toplinskog opterećenja

Φ_i	Projektni toplinski gubici prostorije	6,28	kW
$\Phi_{T,i}$	Projektni transmisivski gubici topline prostorije	5,44	kW
$\Phi_{V,i}$	Projektni ventilacijski gubici topline prostorije	0,84	kW

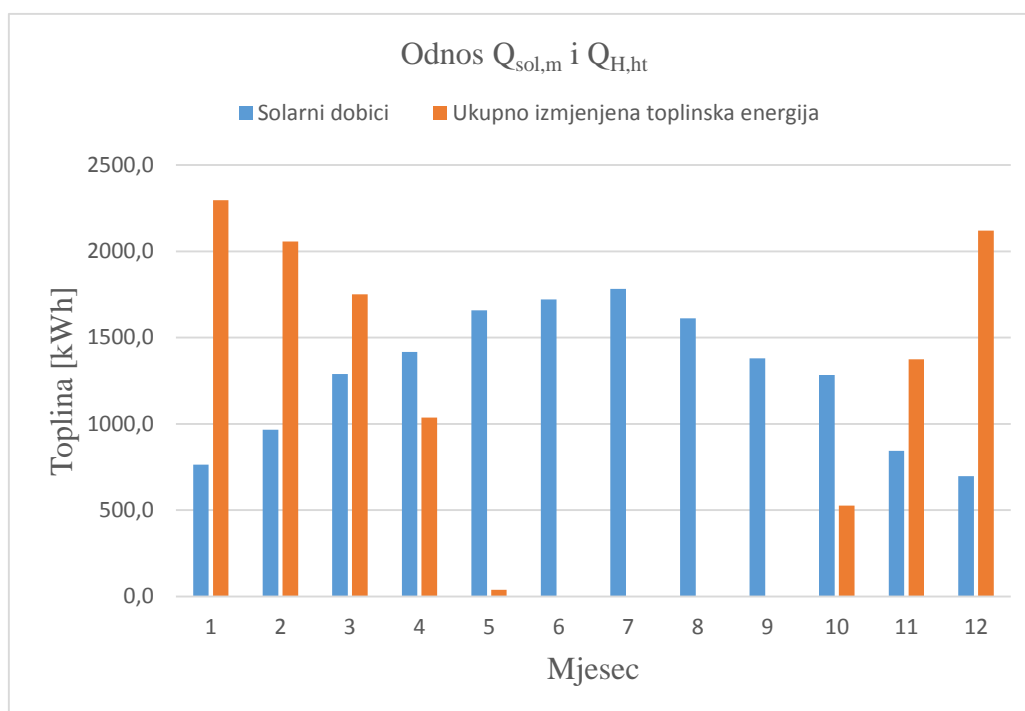
5.2. HRN EN ISO 13790**Tablica 21. Proračun sunčevog zračenja u ovisnosti o prostoriji i strani svijeta**

Mjesec	Kuhinja (S)	$Q_{sol,k}$	SS1 (SZ)	$Q_{sol,k}$	WC (Z)	$Q_{sol,k}$	SS2 (JZ)	$Q_{sol,k}$	Dn.boravak (J)	$Q_{sol,k}$
1	64	48,6	64	92,3	144	62,8	243	333,0	309	226,9
2	81	61,9	81	117,8	205	89,9	308	422,9	371	272,6
3	133	102,3	133	194,8	317	139,4	396	544,1	419	307,9
4	167	128,9	204	300,3	383	168,6	403	553,8	361	265,2
5	208	160,8	324	478,3	452	199,1	417	573,0	337	247,5
6	212	163,9	372	549,7	477	210,1	411	564,8	316	232,0
7	210	162,3	367	542,2	500	220,3	442	607,5	341	250,4
8	186	143,6	263	387,8	444	195,5	443	608,9	376	276,2
9	139	107,1	143	209,7	363	159,7	429	589,7	426	313,1
10	103	79,0	103	150,2	287	126,1	416	571,7	485	356,6
11	67	50,9	67	96,9	163	71,3	272	373,1	342	251,2
12	56	42,3	56	80,4	126	54,9	224	306,8	289	212,1

Tablica 22. Proračun efektivne površine građevnog elementa (zida, otvora) na koju upada sunčevo zračenje [m^2]

Prostorija	Orij.	Površina zida	$A_{sol,k}$	U	$\Phi_{r,k}$	Površina ostakljenja	$A_{sol,k}$	$\Phi_{r,k}$	U
Kuhinja	S	5,5	1,8	3,7	1,2	4,2	1,3	0,6	2,3
SS1	SZ	14,2	4,6	3,7	3,1	4,2	1,3	0,6	2,3
WC	Z	4,8	1,6	3,7	1,0	0,7	0,2	0,1	2,3
SS2	JZ	7,9	2,6	3,7	1,7	9,1	2,9	1,2	2,3
Dn.boravak	J	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	2,9	1,2	2,3

Rezultati proračuna potrebne energije za grijanje satnom i mjesečnom metodom nalaze se u prilogu, dok se izvor podataka za satnu metodu nalazi na stranicama Narodnih Novina [7]. Kod satne metode uzima se pretpostavka da sustav radi bez prekida kroz cijelu sezonu grijanja. Meteorološki podatci koji se koriste za satnu metodu prikazani su reprezentativnom godinom. Na slici 10. uočava se koliko je značajan udio solarnih dobitaka u odnosu na transmisivne i ventilacijske gubitke, osobito u proljeće i jesen, što dovodi u pitanje opterećenje sustava u tim periodima. [7]



Slika 10. Odnos solarnih dobitaka i gubitaka kroz mjesec

Rezultati satne i mjesečne metode prikazani su u tablici 23.

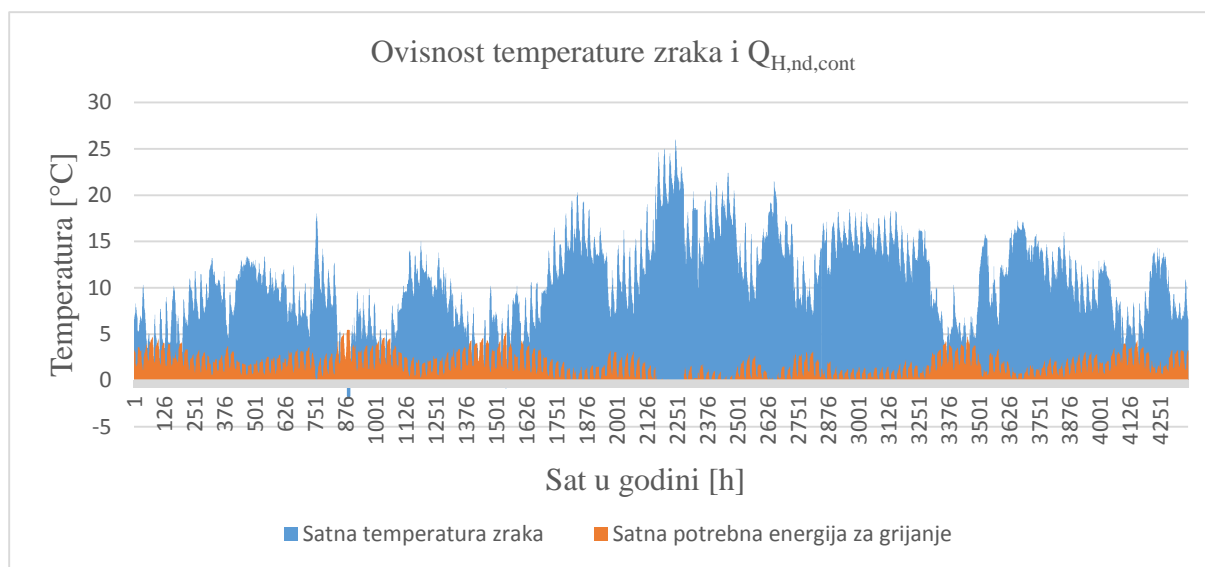
Tablica 23. Potrebna godišnja energija za grijanje satnom i mjesečnom metodom

Potrebna godišnja energija za grijanje	Satna metoda	Mjesečna metoda
$Q_{H,nd,cont}$ [kWh/a]	7702,85	6684,27
$Q_{H,nd,cont}$ [kWh/m ² a]	137,86	119,63

Iz cjelokupnog proračuna se zaključuje da je satnom metodom potrošnja viša za približno 15% u odnosu na mjesečnu metodu, zbog zanemarenja inercije sustava kod mjesečne metode. U oba slučaja bi stan bio svrstan u energetske razred D, da se radi energetske certificiranje stana, po tablici 24.

Tablica 24. Energetski razredi zgrada utvrđeni Pravilnikom o energetskom certificiranju zgrada [9]

Energetski razred	$Q_{H,nd,ref}$ –specifična godišnja potrebna toplinska energija za grijanje u kWh/(m ² a)
A+	≤ 15
A	≤ 25
B	≤ 50
C	≤ 100
D	≤ 150
E	≤ 200
F	≤ 250
G	> 250



Slika 11. Ovisnost vanjske temperature i potrebne energije za grijanje (napomena: u 2162. satu je prekid sezone grijanje, tj. u 2163. satu počinje listopad)

6. PRIJEDLOG RJEŠENJA

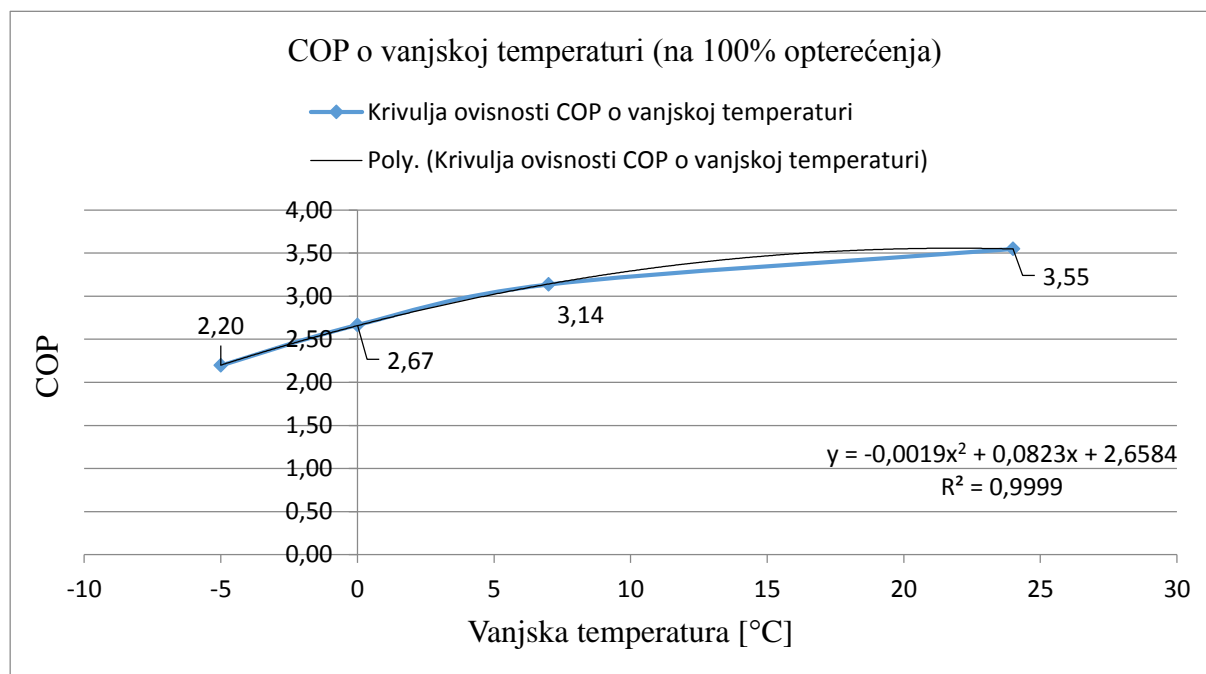
S obzirom na rezultate toplinskog opterećenja prostorije, jedno od rješenja je dizalica topline zrak-zrak marke Samsung, model AC071MNADKH/EU kapaciteta 7,1 kW s tehničkih specifikacijama prikazanim u tablici 25.

Dizalica topline zadovoljava projektno toplinsko opterećenje proračunske zone, uz mogućnost hlađenja u odnosu na ostala rješenja.

Tablica 25. Osnovne tehničke karakteristike dizalice topline [10]

Kapacitet hlađenja [kW]	Grijanje (min./stand./max.)	1,90/8,00/9,00
Pogon kompresora [kW]	Grijanje (min./stand./max.)	0,35 / 2,55 / 3,95
COP	Grijanje (nominalni)	3,14
Radna tvar	R410A	

6.1. Ovisnost COP-a o vanjskoj temperaturi



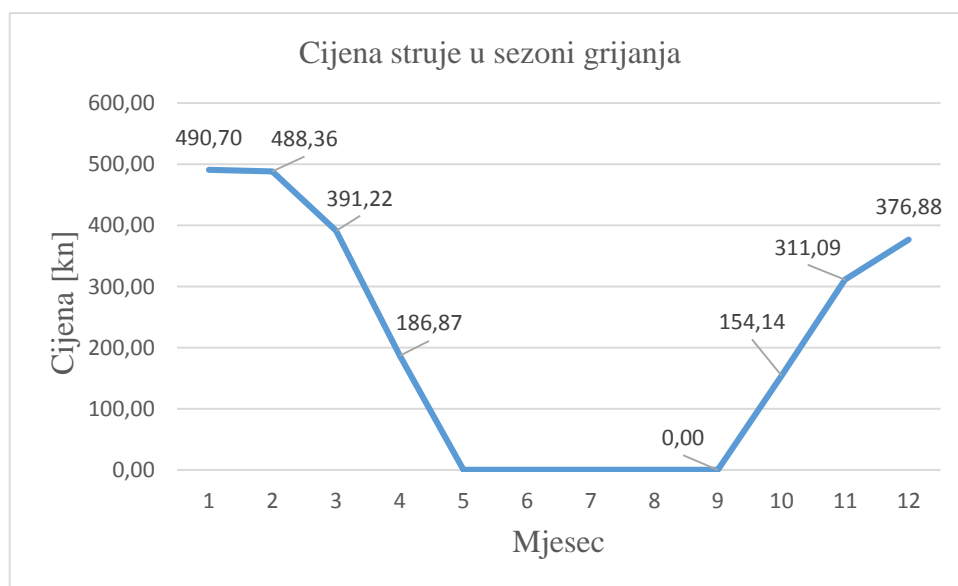
Slika 12. Ovisnost COP-a o vanjskoj temperaturi

Ovisnost COP-a o vanjskoj temperaturi je ovisna o izvedbi same dizalice topline i razlikuje se jedna od druge. Prikazana ovisnost na slici 12. odnosi se na navedenu dizalicu topline i dobivena je spajanjem izmjerenih vrijednosti parametara. Provlačenjem krivulje drugog reda između točaka dobiva se krivulja:

$$y = -0,0019x^2 + 0,0823x + 2,6584$$

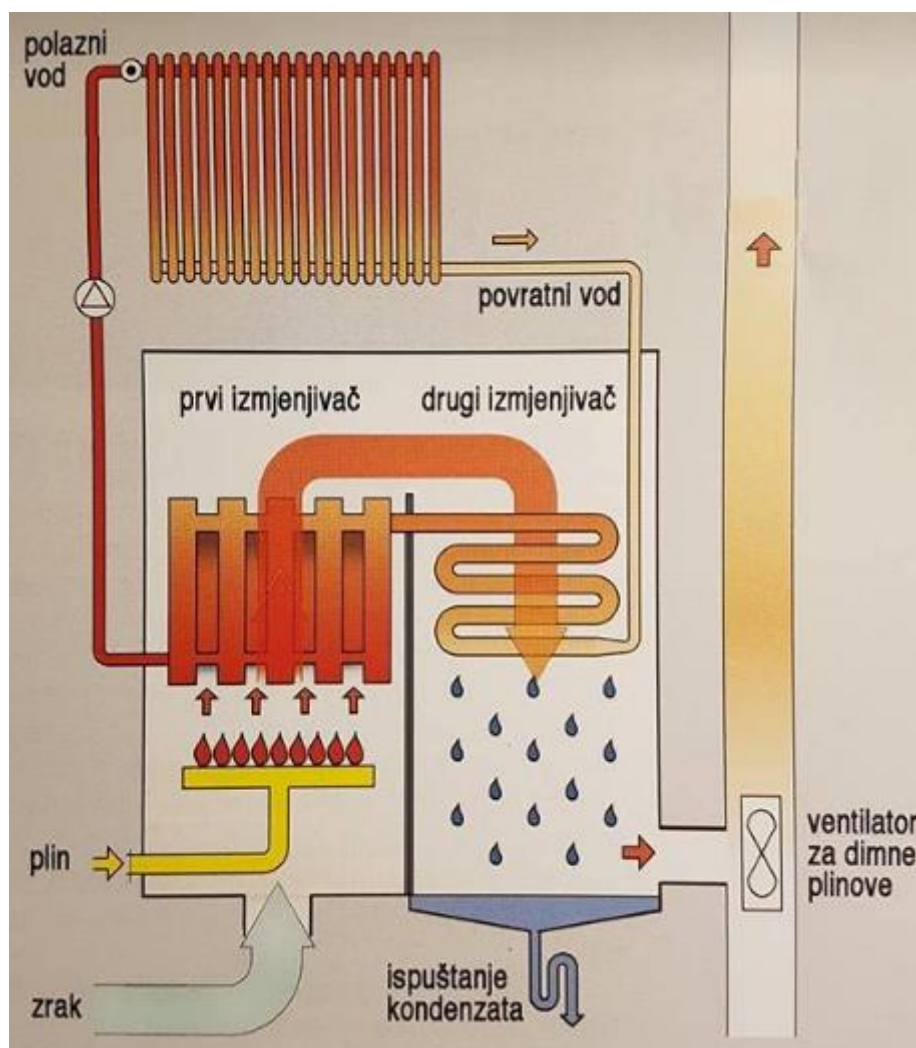
kojom se aproksimiraju vrijednosti COP-a uz točnost od 99%. Sve vrijednosti se odnose na 100% -tno opterećenje, što je uz današnju primjenu digitalnih invertera u balansiranju brzine okretaja kompresora, pa posljedično i snage kompresora, nerealno.

Slika 12. pokazuje kako COP raste povećanjem vanjske temperature, i obrnuto. Smanjenjem vanjske temperature površina u T-s dijagramu (vidi poglavlje 1.2.2.) se povećava pa je i veći utrošak kompresora za isti toplinski učin, što rezultira manjim COP-om. Utrošak električne energije za pogon dizalice topline u sezoni grijanja (satnom metodom) iznosi 2764 kn, a mjesečnom iznosi 2399 kn. Cijene su određene na dan 19.2. po bijelom tarifnom modelu od 1,124 kn/kWh dnevne tarife i 0,652 kn/kWh noćne tarife, s uključenim PDV-om i naknadama za mjernu uslugu i opskrbu strujom (izračunato za mjesečnu potrošnju od 500 kWh) [11].



Slika 13. Potrošnja struje kroz sezonu grijanja (mjesečna metoda)

6.2. Plinski kondenzacijski bojler



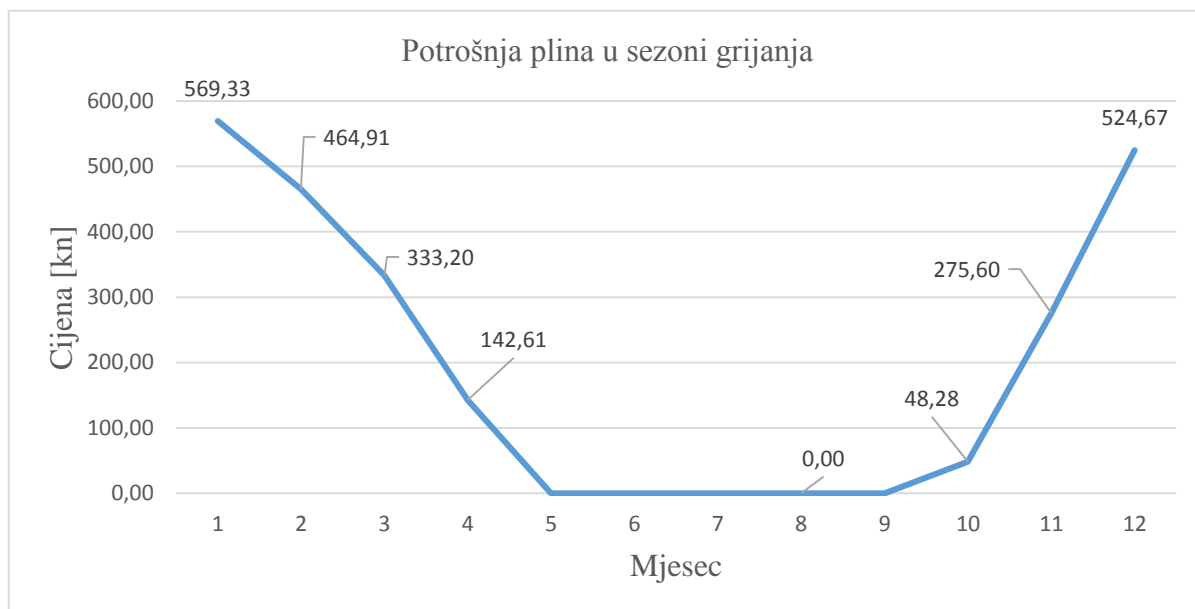
Slika 14. Shema plinskog kondenzacijskog bojlera [12]

Plinski kondenzacijski bojler postavlja se kao visokoučinkovita alternativa dizalicama topline. Spaja se na toplovodni sustav grijanja i postiže značajno veće parametre toplinske ugodnosti u grijanom objektu, u odnosu na dizalicu topline koja lokalno podiže temperaturu prostora. To zahtjeva visoku investiciju postavljanja cijevi po grijanom prostoru i radijatora, o čemu više u poglavlju: ekonomska analiza.

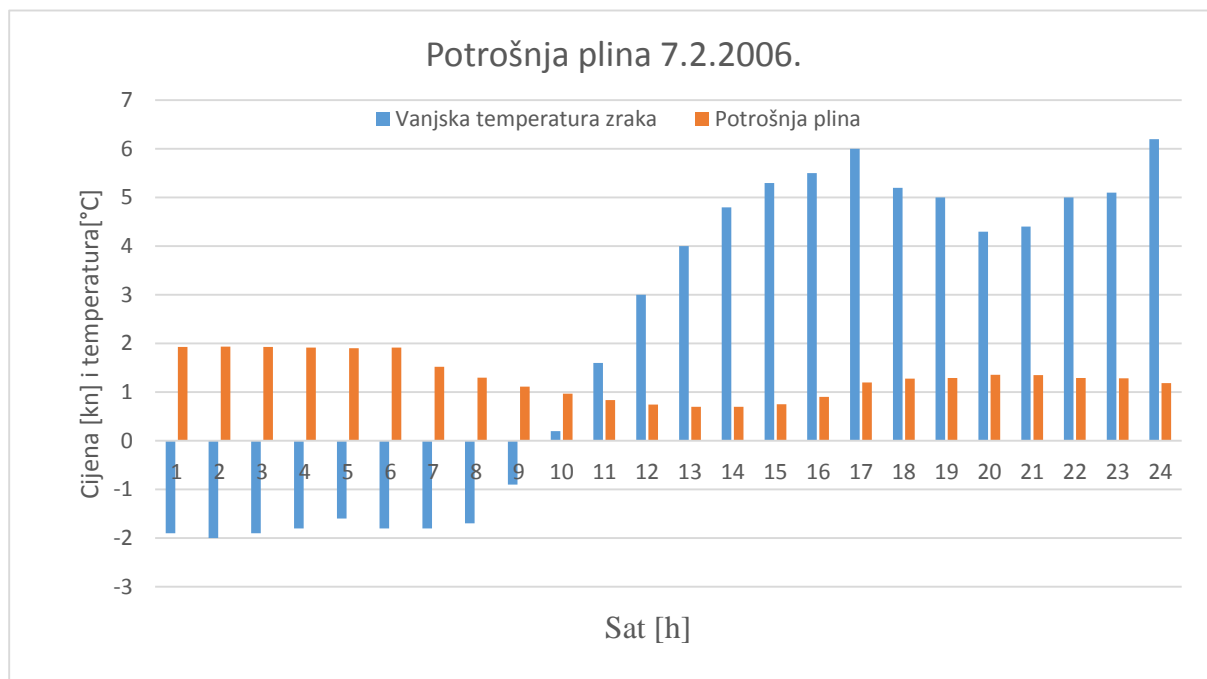
Plinski kondenzacijski bojler koristi visoku temperaturu dimnih plinova provlačeći ih kroz dva izmjenjivača s ogrjevnom vodom, te kondenzirajući vodenu paru iz dimnih plinova, postiže visoku učinkovitost cjelokupnog procesa (slika 14). Za plinski bojler odabire se bojler

najmanjeg učina, Vaillantov ecoTEC plus VU INT I 116 sa specifikacijama u tablici 26.

Za proračun potrošnje plina korištene su mjesečna (slika 15.) i satna metoda (slika 16.), po cijeni od 0,35 kn/kWh, propisanoj od strane distributera plina [13].



Slika 15. Potrošnja plina u sezoni grijanja (mjesečna metoda)



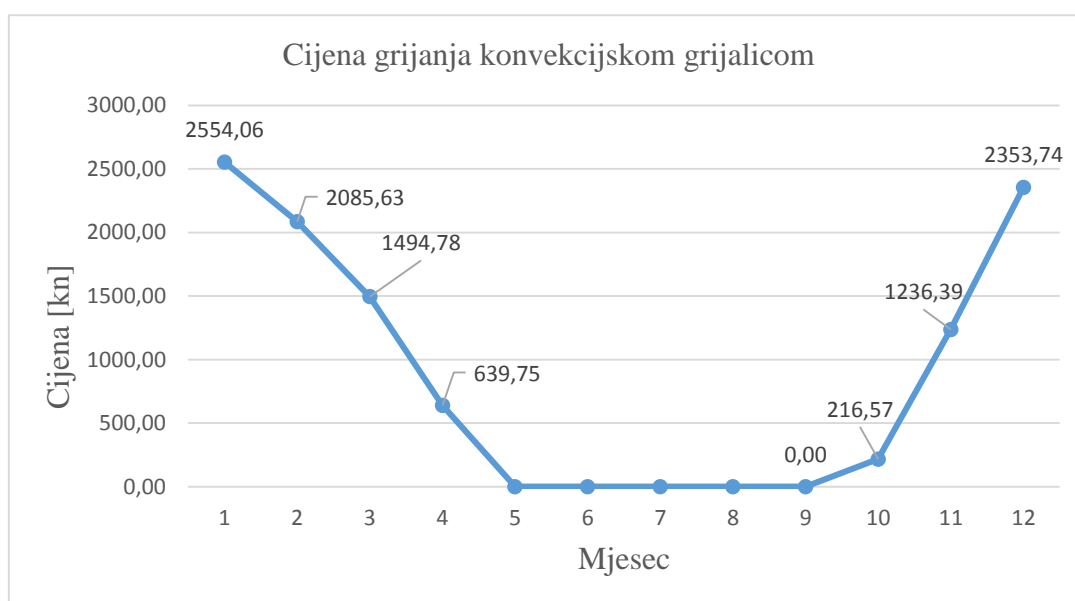
Slika 16. Potrošnja plina u sezoni grijanja (satna metoda)

Tablica 26. Osnovne tehničke karakteristike plinskog kondenzacijskog bojlera [14]

Model	ecoTEC plus VU INT 116
Razred energetske učinkovitosti	A
Učinak na grijanju pri 80/60 °C	11 kW
Normi stupanj iskorištenja	98 % (H _d) ; 109 % (H _g)
Vrsta plina	Zemni plin, ukapljeni plin

6.3. Konvekcijska grijalica

Jedno od čestih rješenja u Dalmaciji je konvekcijska grijalica koja koristi električnu energiju za zagrijavanje okolnog zraka i prirodnom konvekcijom miješa zrak u prostoriji. Investicijski trošak konvekcijskih grijalica je malen, ali je i učinkovitost niska. COP kod konvekcijskih grijalica iznosi jedan, tj. za svaki kW električne dobije se kW toplinske energije, što je za proračun izrazito nepovoljno, te neće biti uzeto u daljnje razmatranje kao suvremena opcija grijanja. Godišnja cijena grijanja mjesečnom metodom prikazana je slikom 17. i iznosi 6200 kn.

**Slika 17. Cijena grijanja konvekcijskom grijalicom**

7. EKONOMSKA ANALIZA TIPOVA GRIJANJA

Tablica 27. Usporedba investicijskih troškova ugradnje plinskog kondenzacijskog bojlera i dizalice topline

	VUW 116/5-3 A ecoTEC Pro	AC071MNADKH
Toplinski učin (kW)	11	7,1
Izvor topline (kn)	8614	10000
Radijatori (kn) [15]	5406,65	-
Priključak (kn) [16]	5500	-
Plinomjer (kn)	1500	-
Građevinski radovi (kn) - približno	20000	1500
Godišnja potrošnja (kn)	2718,34	2338,19
Razlika u cijeni (kn)	380,22	
Ukupni troškovi u 1. godini (kn)	43738,99	13354,11

Ekonomskom analizom pokušava se objediniti što realniji slučaj prelaska na plin uz sve troškove, koji se nerijetko zanemaruju. Investicijski troškovi za ugradnju dizalice topline iznose 1500 kn građevinskih radova te cijena same dizalice topline. S druge strane investicijski troškovi kod plinskog bojlera su značajno veći, od cijene priključka (koja je u slučaju struje pretpostavljena da već postoji), preko cijene ogrjevnih tijela pa do „raskopavanja“ cijelog stana za postavljanje cijevnog razvoda, što sve skupa iznosi i preko 30 000 kn. Uz trenutne cijene energenata, plin je skuplji za 380 kn po sezoni grijanja, što ne predstavlja uštedu iz koje bi se mogao financirati projekt uvođenja plina.

7.1. Analiza osjetljivosti

U analizi osjetljivosti analizira se promjena uštede s promjenom cijena energenata. Fiksiranjem jednog parametra (npr. cijene plina) i variranjem cijena struje, dobiva se različita ušteda iz koje se zaključuje koliko je projekt osjetljiv na tržišne oscilacije cijena. Cjelokupna analiza će se primijeniti na satnu metodu. Negativna vrijednost uštede (godišnja) u narednim tablicama predstavlja uštedu plinskog kondenzacijskog bojlera, iz kojeg se može financirati investicija.

Tablica 28. Usporedba uštede za variranje postotne promjene cijena tarifa struje

Postotna promjena	-75%	-50%	-25%	-10%	10%	25%	50%	100%
Ušteda	2133,92	1549,51	964,7	614,05	146,39	-204,26	-788,81	-1958
Dnevna tarifa struje	0,281	0,5620	0,8430	1,0116	1,2364	1,4050	1,6860	2,2480
Noćna tarifa struje	0,163	0,3260	0,4893	0,5871	0,7176	0,8154	0,9785	1,3047
Cijena plina	0,3529	0,3529	0,3529	0,3529	0,3529	0,3529	0,3529	0,3529

Tablica 29. Usporedba uštede za variranje postotne promjene cijene plina

Postotna promjena	-75%	-50%	-25%	-10%	10%	25%	50%	100%
Ušteda	-1673,24	-994,00	-314,61	93,64	637,46	1044,94	1725,11	3083,89
Dnevna tarifa struje	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12	1,12
Noćna tarifa struje	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Cijena plina	0,08822	0,1764	0,2646	0,3176	0,3882	0,4411	0,5294	0,7058

Tablica 30. Usporedba uštede za variranje postotne promjene struje (jednotarifni obračun cijene električne energije)

Postotna promjena	-75%	-50%	-25%	-10%	10%	25%	50%	100%
Ušteda	1976,28	1234,23	492,18	46,95	-546,69	-991,92	-1733,97	-3218
Jedna tarifa struje	0,281	0,5620	0,8430	1,0116	1,2364	1,4050	1,6860	2,2480
Cijena plina	0,3529	0,3529	0,3529	0,3529	0,3529	0,3529	0,3529	0,3529

8. ZAKLJUČAK

Iz svega navedenog može se zaključiti da je projekt plinifikacije nepovoljan za kućanstva kojem se zbog trenutno visokih cijena plina, a niskih cijena električne energije, ne daje dovoljno financijskih motiva za investiranje novca u kompletan projekt. Iz analize osjetljivosti uočava se kod kakvih kretanja cijena plina i električne energije se isplati realizirati projekt. Jedino se u slučaju nepostojanja dvotarifnih mjerila struje koja je skuplja 100%, uz trenutnu cijenu plina, projekt isplati u približnom periodu od 9 i pol godina. Za sve ostale iznose postotnih promjena, ušteda je zanemariva te isplativost projekta prelazi 10 godina, što je krajnje neprihvatljivo za investitora.

S druge strane, razina toplinske ugone koja se postiže uvođenjem plinskog kondenzacijskog bojlera i prateće infrastrukture u stan, primjetno je veća od lokalnog grijanja koje se postiže dizalicom topline. Uz još neznatnu investiciju, priprema potrošne tople vode (PTV-a) može biti implementirana s plinskim kondenzacijskim bojlerom.

LITERATURA

- [1] I. Balen: Podloge za predavanje iz kolegija “Termotehnika (KGH)“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
- [2] Slika preuzeta 20.2. 2018. s (<https://www.ikoma.hr/hr/radijatori/plocasti-radijatori-ventilski-60-cm/plocasti-radijator-ventilski-600-x-1000-mm-22-v-thermoqueen-2239-w-5674/>)
- [3] Termodinamika 1: A. Galović, FSB, Zagreb, 2002.
- [4] Mali modularni obnovljivi centralizirani toplinski i rashladni sustavi: D. Rutz, C. Doczekal, R. Zweiler, M. Hofmeister, L. Laurber Jensen, WIP Renewable Energies, München, 2017.
- [5] HRN EN 12831
- [6] HRN EN ISO 13790
- [7] <https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/432856.pdf>
- [8] B. Halasz, A. Galović, I. Boras: Toplinske tablice, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2013.
- [9] <http://www.encert-eihp.org/wp-content/uploads/2013/02/Prirucnik-za-energetsko-certificiranje-zgrada-1.pdf>
- [10] Samsung Technical data book
(http://www.clima.se/Handlers/DocumentManager.ashx?id=27002642&title=Teknisk%20databok%20CAC_NASA_V%C3%A4ggmodell&format=PDF&operation=preview_file)
- [11] <http://www.hep.hr/elektra/kucanstvo/tarifne-stavke-cijene/1547>
- [12] T.Toth: Štedljivije grijanje, Majstor², Zrinski, d.d. Čakovec., 2008.
- [13] [http://www.evn.hr/Download-\(1\)/Households/Gas-prices/20180101-20180331_Cijene-plina-za-javnu-uslugu-ops.aspx](http://www.evn.hr/Download-(1)/Households/Gas-prices/20180101-20180331_Cijene-plina-za-javnu-uslugu-ops.aspx)
- [14] <https://www.vaillant.hr/krajnji-korisnici/proizvodi/ecotec-plus-vu-int-i-116-5-5-356-5-5-837.html>
- [15] <http://www.lipovica.hr/kalkulator.html>
- [16] <http://www.evn.hr/EVN-HR/Mediji/Objave-za-medije/S-plinom-jeftinije-grijanje.aspx?lang=hr-HR>

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija

Prilog 1. – Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje
 $Q_{H,nd,cont}$ prema HRN EN ISO 13790 (mjesečna metoda)

*Sve veličine Q su izražene u kWh

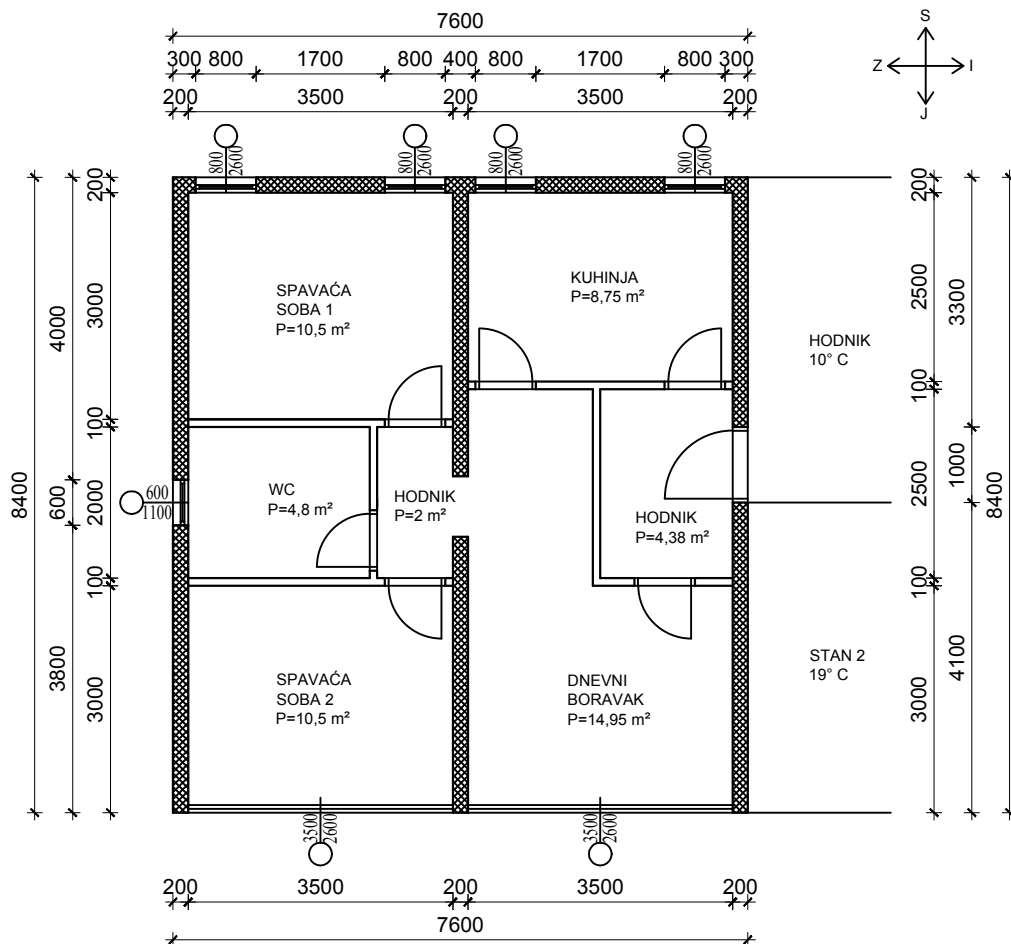
mjesec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
broj dana	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
sati	744,0	672,0	744,0	720,0	744,0	720,0	744,0	744,0	720,0	744,0	720,0	744,0
$\Theta_{e,m}$	8,2	8,3	11,0	14,5	19,8	23,9	26,6	26,4	21,2	17,3	12,7	9,1
Q_{Tr}	1988,4	1780,7	1516,6	896,9	33,7	0	0	0	0	455,0	1190,4	1836,7
Q_{Ve}	307,6	275,5	234,6	138,8	5,2	0	0	0	0	70,4	184,2	284,2
$Q_{H,ht}$	2296,0	2056,2	1751,2	1035,7	38,9	0	0	0	0	525,4	1374,6	2120,9
$Q_{int,m}$	207,9	187,7	207,9	201,2	207,9	201,2	207,9	207,9	201,2	207,9	201,2	207,9
$Q_{sol,m}$	763,6	965,2	1288,4	1416,7	1658,7	1720,6	1782,8	1612,1	1379,3	1283,5	843,4	696,6
$Q_{H,gn}$	971,4	1152,9	1496,3	1617,9	1866,6	1921,8	1990,6	1819,9	1580,4	1491,4	1044,5	904,4
y_H	0,4	0,6	0,9	1,6	48,0	0	0	0	0	2,8	0,8	0,4
$\eta_{H,gn}$	0,7	0,6	0,5	0,4	0	1	1	1	1	0,3	0,6	0,7
$Q_{H,nd,cont}$	1613,3	1317,4	944,2	404,1	0,8	0	0	0	0	136,8	781,0	1486,8

**Prilog 2. – Proračun godišnje potrebne toplinske energije za grijanje
 $Q_{H,nd,cont}$ prema HRN EN ISO 13790 (satna metoda) – za najhladniji dan
7. 2. 2006.**

*Sve veličine Q su izražene u kWh

y	m	d	h	Θ_v	Q_{Tr}	Q_{Ve}	Q_{int}	Q_{sol}	$Q_{H,ht}$	$Q_{H,gn}$	y_H	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd,cont}$
2006	2	7	1	-1,9	4,96	0,77	0,279		5,73	0,28	0,05	0,95	5,46
2006	2	7	2	-2	4,98	0,77	0,279		5,75	0,28	0,05	0,95	5,49
2006	2	7	3	-1,9	4,96	0,77	0,279		5,73	0,28	0,05	0,95	5,46
2006	2	7	4	-1,8	4,94	0,76	0,279		5,70	0,28	0,05	0,95	5,43
2006	2	7	5	-1,6	4,89	0,76	0,279		5,65	0,28	0,05	0,95	5,38
2006	2	7	6	-1,8	4,94	0,76	0,279		5,70	0,28	0,05	0,95	5,43
2006	2	7	7	-1,8	4,94	0,76	0,279	1,55	5,70	1,83	0,32	0,76	4,31
2006	2	7	8	-1,7	4,91	0,76	0,279	2,80	5,68	3,08	0,54	0,65	3,68
2006	2	7	9	-0,9	4,73	0,73	0,279	3,73	5,47	4,01	0,73	0,58	3,15
2006	2	7	10	0,2	4,48	0,69	0,279	4,35	5,18	4,63	0,89	0,53	2,73
2006	2	7	11	1,6	4,17	0,64	0,279	4,66	4,81	4,94	1,03	0,49	2,37
2006	2	7	12	3	3,85	0,60	0,279	4,66	4,45	4,94	1,11	0,47	2,11
2006	2	7	13	4	3,62	0,56	0,279	4,35	4,18	4,63	1,11	0,47	1,99
2006	2	7	14	4,8	3,44	0,53	0,279	3,73	3,98	4,01	1,01	0,50	1,98
2006	2	7	15	5,3	3,33	0,52	0,279	2,80	3,84	3,08	0,80	0,56	2,14
2006	2	7	16	5,5	3,28	0,51	0,279	1,55	3,79	1,83	0,48	0,67	2,56
2006	2	7	17	6	3,17	0,49	0,279		3,66	0,28	0,08	0,93	3,40
2006	2	7	18	5,2	3,35	0,52	0,279		3,87	0,28	0,07	0,93	3,61
2006	2	7	19	5	3,40	0,53	0,279		3,92	0,28	0,07	0,93	3,66
2006	2	7	20	4,3	3,56	0,55	0,279		4,11	0,28	0,07	0,94	3,84
2006	2	7	21	4,4	3,53	0,55	0,279		4,08	0,28	0,07	0,94	3,82
2006	2	7	22	5	3,40	0,53	0,279		3,92	0,28	0,07	0,93	3,66
2006	2	7	23	5,1	3,37	0,52	0,279		3,90	0,28	0,07	0,93	3,64
2006	2	7	24	6,2	3,13	0,48	0,279		3,61	0,28	0,08	0,93	3,35

Prilog 3. – Tlocrt karakterističnog stana



	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb Procesno-energetski
Projektirao	19.2.2018	Ante Mastelić		
Razradio	19.2.2018	Ante Mastelić		
Crtao	19.2.2018	Ante Mastelić		
Pregledao				
Mentor		Mislav Čehil		
Objekt:			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:			ZAVRŠNI RAD	
Materijal:				
Masa:			Kopija	
Naziv:			Pozicija:	
TLOCRT KARAKTERISTIČNOG STANA			Format: A4	
Mjerilo originala			Listova:	
1:10			List:	
Crtež broj: 1				